

**UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA VEDE O ZDRAVJU**

MAGISTRSKA NALOGA

JELENA JAKULIN

Izola, 2015

**UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA VEDE O ZDRAVJU**

**VPLIV TRANS MAŠČOBNIH KISLIN V PREHRANI
NA ZDRAVJE LJUDI**

**THE EFFECT OF TRANS FATTY ACIDS IN FOOD ON HUMAN
HEALTH**

Študent: JELENA JAKULIN

Mentor: doc. dr. TAMARA POKLAR VATOVEC

Študijski program: študijski program 2. stopnje Dietetika

Izola, 2015

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisana Jelena Jakulin izjavljam, da je predložena magistrska naloga izključno rezultat mojega dela;

- sem poskrbela, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oziroma citirana v skladu s pravili UP Fakultete za vede o zdravju;
- se zavedam, da je plagiatorstvo po Zakonu o avtorskih in sorodnih pravicah UL št. 16/2007 (v nadaljevanju ZASP) kaznivo.

KLJUČNE INFORMACIJE O DELU

Naslov	<i>Trans</i> maščobne kisline v prehrani in njihov vpliv na zdravje ljudi
Tip dela	magistrska naloga
Avtor	JAKULIN, Jelena
Sekundarni avtorji	POKLAR VATOVEC, Tamara (mentor-ica) / PETELIN, Ana (recenzent-ka), JENKO PRAŽNIKAR, Zala (recenzent-ka)
Institucija	Univerza na Primorskem, Fakulteta za vede o zdravju
Naslov inst.	Polje 42, 6310 Izola
Leto	2015
Strani	88, 88 str., 9 pregl., 0 sl., 0 pril., 222 vir
Ključne besede	<i>trans</i> maščobne kisline, fiziološki učinki, vsebnost v prehrani, zakonodaja
UDK	665.12:614
Jezik besedila	slv
Jezik povzetkov	slv/eng
Izvleček	<p>Namen magistrske naloge je preučiti vpliv <i>trans</i> maščobnih kislin v prehrani na zdravje ljudi. Gre za nenasičene maščobne kisline, ki nastajajo med industrijsko hidrogenacijo olj, procesom, pri katerem tekoče maščobe zaradi večje oksidativne stabilnosti pretvorijo v trdno obliko. Največ jih vsebujejo industrijski izdelki, kot so drobno sladko in slano pecivo, torte, izdelki iz listnatega in kvašenega testa, ocvrte sladice, ocvrt krompir in druge ocvrte jedi, rastlinske masti, trde margarine ter pred pripravljena pokovka. So škodljive, saj povzročajo srčno-žilna obolenja, sladkorno bolezen in raka. Raziskave dokazujejo, da <i>trans</i> maščobne kisline škodljivo vplivajo na koncentracijo serumskih maščob, povzročajo vnetje, oslabijo funkcijo endotelija in povzročajo koronarno srčno bolezen. Povzročajo inzulinsko rezistenco, kar spodbuja nastanek sladkorne bolezni. Škodljiv vpliv se kaže tudi v povezavi z različnimi vrstami raka. Rezultati raziskav, ki so preučevale njihov vpliv na sladkorno bolezen in raka, so sicer nasprotujoči.</p>

KEYWORDS DOCUMENTATION

Title	<i>Trans</i> fatty acids in food and their effect on human health
Type	Master's Thesis
Author	JAKULIN, Jelena
Secondary authors	POKLAR VATOVEC, Tamara (supervisor) / PETELIN, Ana (reviewer), JENKO PRAŽNIKAR, Zala (reviewer)
Institution	University of Primorska, Faculty of Health Sciences
Address	Polje 42, 6310 Izola
Year	2015
Pages	88, 88 p., 9 tab., 0 fig., 0 ann., 222 ref.
Keywords	<i>trans</i> fatty acid, physiological effect, content in food, legislation
UDC	665.12:614
Language	slv
Abstract language	slv/eng
Abstract	<p>The aim of the Master's thesis is to examine the effect of <i>trans</i> fatty acid in food on human health. <i>Trans</i> fatty acids are unsaturated fatty acids formed during hydrogenation of industrial oils, process which converts liquid fat to solid form to increase their oxidative stability. They are found in margarines, baked products, cakes, pastries, French fries and other fried foods. <i>Trans</i> fatty acids have detrimental effects on health; their consumption can lead to higher risk of some pathologies, such as cardiovascular disease, different types of cancer and diabetes. The evidence suggest they cause inflammation and impair endothelial function, adversely affect blood lipids and serum lipoproteins and contribute significantly to increased risk of coronary heart disease. <i>Trans</i> fatty acids may worsen insulin sensitivity leading to diabetes. The results of the studies evaluating their effects on diabetes and cancer are contraindictory.</p>

KAZALO VSEBINE

Ključne informacije o delu	I
Keywords Documentation	II
Kazalo vsebine	III
Kazalo preglednic	V
Seznam kratic.....	VI
1 UVOD	1
1.1 Maščobe in maščobne kisline	2
1.1.1 Delitev maščobnih kislin, struktura in poimenovanje	3
1.2 Stereoizomerija, <i>Cis/trans</i> konfiguracija, nastanek <i>trans</i> maščobnih kislin.....	5
1.2.1 <i>Trans</i> maščobne kisline v prehrani	7
1.3 Merjenje maščobnih kislin v organizmu.....	7
1.4 Prebava maščob	9
1.5 Prehrana in bolezni	11
1.5.1 Srčno-žilna obolenja	11
1.5.2 Sladkorna bolezen.....	13
1.5.3 Rak.....	13
2 NAMEN, HIPOTEZE ALI RAZISKOVALNA VPRAŠANJA.....	14
3 METODE DELA IN MATERIALI.....	15
4 REZULTATI	16
4.1 Fiziološki učinki <i>trans</i> maščobnih kislin	16
4.1.1 Koncentracija serumskih maščob	17
4.1.2 Sistemsko vnetje	19
4.1.3 Endotelijska funkcija	21
4.1.4 Koronarna srčna bolezen	22
4.1.5 Sladkorna bolezen.....	25
4.1.6 Rak.....	29
4.2 Vsebnost trans maščobnih kislin v živilih	31
4.2.1 Ukrepi za odstranitev <i>trans</i> maščobnih kislin iz živil in možnosti njihove zamenjave z alternativnimi maščobami	34
4.2.2 Industrijske strategije za zmanjšanje <i>trans</i> maščobnih kislin v živilih.....	36
4.2.3 Zakonodaja o vsebnosti <i>trans</i> maščobnih kislin v živilih.....	40
4.2.4 Stanje na področju <i>trans</i> maščobnih kislin v Sloveniji.....	41

4.2.5	Zamenjava <i>trans</i> maščobnih kislin z esencialnimi maščobnimi kislinami	43
4.2.6	Dodatek sterolov, stanolov v margarine.....	44
5	RAZPRAVA	46
6	ZAKLJUČEK.....	48
7	VIRI.....	50
	Povzetek	74
	Summary	75
	Zahvala	76

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Prehransko priporočilo (Referenčne vrednosti za vnos hranil, 2004)	1
Preglednica 2: Struktura maščobnih kislin, sistematska in trivialna imena nekaterih maščobnih kislin (Scrimgeour in Harwood, 2007).....	4
Preglednica 3: Parametri dislipidemije in njihove vrednosti (European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice, 2012).....	18
Preglednica 4: Prospektivne kohortne raziskave, ki so preučevale vnos maščobnih kislin in dokazale vpliv <i>trans</i> maščobnih kislin na nastanek koronarne srčne bolezni	23
Preglednica 5: Randomizirane kontrolirane raziskave, ki vpliva <i>trans</i> maščobnih kislin na sladkorno bolezen niso dokazale	26
Preglednica 6: Velika prospektivna raziskava, ki je dokazala vpliv <i>trans</i> maščobnih kislin na nastanek sladkorne bolezni	27
Preglednica 7: Manjše raziskave, ki so dokazale vpliv <i>trans</i> maščobnih kislin na nastanek sladkorne bolezni	27
Preglednica 8: Veliki raziskavi, ki sta preučevali in dokazali vpliv <i>trans</i> maščobnih kislin na različne vrste raka	30
Preglednica 9: Raziskave, ki vpliva <i>trans</i> maščobnih kislin na raka niso dokazale	30

SEZNAM KRATIC

Kratica	pomen
Apo-	apolipoprotein
<i>c</i>	<i>cis</i>
CLA	conjugated linoleic acid, konjugirana linolna kislina
COX-2	ciklooksigenaza-2
CRP	C-reaktivni protein
dcl	deciliter
DHA	docosaheptaenoic acid, dokozaheptaenojska kislina
DPA	docosapentaenoic acid, dokozaheptaenojska kislina
EFSA	European Food Safety Agency, evropska agencija za varnost hrane
eNOS	endothelial nitric oxide synthase, endotelijska sintaza dušikovega oksida
EPA	eicosapentaenoic acid, eikozapentaenojska kislina
EU	Evropska unija
HDL	high-density lipoprotein, lipoprotein visoke gostote
IDL	intermediate-density lipoprotein, lipoprotein srednje gostote
IL-	interlevkin-
ITM	indeks telesne mase
kg/m ²	kilogram na kvadratni meter
KNB	kronične nenalezljive bolezni
kPa	kilopaskal
LDL	low-density lipoprotein, lipoprotein nizke gostote
Lp-	lipoprotein-
mg	miligram
mg/dcl	miligram na deciliter
ml	mililiter
mmol/l	milimol na liter
NCEP-ATP III	National Cholesterol Education Program Adult Treatment Panel III, nacionalni izobraževalni program o holesterolu za odrasle
NHL	Non-Hodgkin Lymphoma, ne-Hodgkinov limfom
nm	nanometer
NO	dušikov oksid
oxLDL	oksidiran LDL
PAHO	Pan American Health Organization, Pan ameriška zdravstvena organizacija
RS	Republika Slovenija
SZO	Svetovna zdravstvena organizacija
SŽO	srčno-žilna obolenja
t	tona
<i>t</i>	<i>trans</i>
TMK	<i>trans</i> maščobna kislina
TNF-alfa	Tumor Necrosis Factor-alpha, tumor nekrozn faktor-alfa

TNF-R	receptor tumor nekroznega faktorja
Ur. l. RS	Uradni list Republike Slovenije
VLDL	very-low density lipoprotein, lipoprotein zelo nizke gostote
ZDA	Združene države Amerike
ZPS	Zveza potrošnikov Slovenije

1 UVOD

Prehrana oziroma prehranjevanje pomeni uživanje živil in/ali hranil, ki jih človek potrebuje za zadovoljevanje fizioloških potreb organizma (rast, razvoj in delo). Pomeni tudi vedo o živilih, hranilih in drugih snoveh, ki jih vsebujejo živila, njihovem delovanju, medsebojni odvisnosti in ravnotežju, ki vpliva na zdravje, pojav bolezni in o procesih uživanja, prebave, presnove in izločanja snovi, ki sestavljajo živila. Pojmi zdrave, uravnotežene, priporočene prehrane celostno zajemajo na znanstvenih dognanjih temelječa priporočila o fizioloških potrebah organizma po energiji in posameznih hranilih glede na starost, spol in delo, ki ga človek opravlja, o živilih, ki vsebujejo ta hranila in o priporočenem ritmu prehranjevanja z namenom preprečevanja obolenj in stanj, ki jih lahko povzroči nezdrava prehrana. Zdrava prehrana vključuje varno, energijsko in hranilno uravnoteženo, varovalno (funkcionalno) in biološko sprejemljivo hrano v okviru določene kulturne skupnosti, ki ohranja in krepi človekovo zdravje. Za doseg uravnotežene prehrane se poslužujemo normativov oziroma referenčnih vrednosti za vnos hranil, ki so specifični glede na spol, starost, telesno dejavnost in druga stanja. Priporočila navajajo minimalne količine za posamezna hranila, ki jih mora človek zaužiti s hrano, da se ne bi pokazale posledice pomanjkanja oziroma maksimalne količine, da ne bi prišlo do kroničnih bolezni (Ur. l. RS, 2005).

Preglednica 1: Prehransko priporočilo (Referenčne vrednosti za vnos hranil, 2004)

Table 1: Dietary recommendations (Referenčne vrednosti za vnos hranil, 2004)

Delež celotne potrebne energije iz	%
Skupnih maščob	< 30
Nasičenih maščobnih kislin	< 10
<i>Trans</i> maščobnih kislin	< 1
Enkrat nenasičenih maščobnih kislin	> 10 ¹
Omega-6	2,5
Omega-3	0,5
Ogljikovih hidratov	> 50
Mono- in disaharidov	< 10

Za varno in zdravo prehranjevanje ter doseganje priporočenih vrednosti hranil in prehranskih ciljev je pomemben pravilen izbor živil, način priprave obrokov ter sam ritem prehranjevanja. Smernice zdravega prehranjevanja zajemajo pravilno sestavo hrane glede na kritje dnevnih energijskih potreb v skladu s priporočili za vnos hranil in glede uživanja zdravju koristnejših živil (uživanje hrane z manj skupnih maščob, nasičenih in *trans* maščobnih kislin (TMK) ter manj sladkorja, veliko prehranske vlaknine, vitaminov, mineralnih snovi in snovi z antioksidativnim učinkom) (Ur. l. RS, 2005).

¹ Novejša priporočila Svetovne zdravstvene organizacije navajajo do 7 %.

1.1 MAŠČOBE IN MAŠČOBNE KISLINE

Maščoba je pomemben del prehrane ljudi. To so majhne naravno prisotne molekule, ki jih je iz organizmov možno izolirati z ekstrakcijo s pomočjo nepolarnega topila (McMurry in Simanek, 2007). So netopne v vodi in imajo pomembno vlogo v živih organizmih (Dimosthenopoulos in sod., 2010). Primeri maščob so masti, olja, voski, številni vitamini, hormoni in večina nebeljakovinskih komponent celičnih membran (McMurry in Simanek, 2007). Maščobe imajo pomembno vlogo v celični strukturi; fosfolipidni dvosloji so namreč temeljni del strukture membran v celicah. Membranski fosfolipidi so presnovno pomembne molekule, saj delujejo kot sekundarni prenašalci številnih hormonov in bioaktivnih snovi (Carpentier in Sobotka, 2011). Maščobe so pomemben vir energije (Genton in sod., 2011b), saj predstavljajo 30 do 60 % dnevne energijske vrednosti odraslih (Frangos in Forbes, 2011). So najpomembnejša oblika zaloge energije v telesu, kar je posledica visoke energijske vrednosti (1 gram trigliceridov sprosti 38,34 kJ oziroma 9,3 kcal). Maščobno tkivo namreč lahko akumulira velike količine energije; povprečna količina, shranjena v maščobnem tkivu odraslega, je 628 020 kJ (150 000 kcal). Ta količina je sicer odvisna od skupne količine akumulirane maščobe (Carpentier in Sobotka, 2011). Maščobe so tudi prenašalci v maščobah topnih vitaminov A, D, E in K. Za zagotavljanje zadostne absorpcije, predvsem vitamina A in E, je pomembno, da maščoba predstavlja vsaj 10 do 15 % dnevne energijske vrednosti (Genton in sod., 2011b).

Najpogostejše maščobe so živalske maščobe in rastlinska olja. Čeprav se zdijo različne (živalske maščobe (npr. maslo in svinjska mast) so trdne, rastlinska olja tekoča), je njihova kemijska struktura zelo podobna. Glede na to sodijo med trigliceride, triestre glicerola s tremi dolgoverižnimi karboksilnimi kislinami. Hidroliza maščob z natrijevim hidroksidom vodi v nastanek glicerola in treh dolgoverižnih maščobnih kislin (McMurry in Simanek, 2007). Maščobne kisline so osnovne strukturne komponente trigliceridov (Wood in sod., 1987). Pridobljene s hidrolizo trigliceridov so običajno nerazvejane in vsebujejo med 12 in 20 ogljikovih atomov (McMurry in Simanek, 2007). So predhodniki sinteze modulatorjev imunske funkcije; prispevajo k občutku sitosti po hranjenju (delno zaradi počasnega praznjenja želodca) in predstavljajo glavno energijsko rezervo med stradanjem, saj oblikujejo podkožno maščobno tkivo (Genton in sod., 2011b). Nahajajo se v serumu, membranah in maščobnem tkivu (Wood in sod., 1987). Maščobne kisline, sproščene iz maščobnega tkiva, so netopne v vodi in krožijo vezane na plazemski albumin (Carpentier in Sobotka, 2011).

Maščobne kisline niso samo prenašalci energije, temveč tudi direktno vplivajo na funkcijo celic; vplivajo na sestavo celičnih membran in posledično na njihovo fizikalno obnašanje. Lahko se vežejo na celične receptorje v jedru in tako odločilno spremenijo celično funkcijo (Berneis, 2007). So pomembni modulatorji celične funkcije, vplivajo na fluidnost membran in odgovor membranskih receptorjev; to jim omogoča vključitev v fosfolipide in celične membrane (Feller in Gawrisch, 2005). Vežejo se tudi na nuklearne receptorje in vplivajo na njihovo regulacijo genskega prepisovanja ter regulacijo sterolov (Vanden Heuvel, 2004). Maščobne kisline lahko direktno ali indirektno vplivajo na presnovni in vnetni odgovor endoplazmatskega retikuluma (Hotamisligil, 2005).

1.1.1 Delitev maščobnih kislin, struktura in poimenovanje

Prehranske maščobne kisline so glede na zgradbo razdeljene v tri skupine (Genton in sod., 2011b; Dimosthenopoulos in sod., 2010):

- Nasičene maščobne kisline

Nahajajo se večinoma v živilih živalskega izvora (sesalcev) in se v telo vnašajo s hrano. Visok vnos teh maščob lahko poviša plazemski nivo lipoproteina nizke gostote (LDL) in je povezan z večjim tveganjem za nastanek sladkorne bolezni tipa 2 in koronarne srčne bolezni (Genton in sod., 2011b).

- Enkrat nenasičene maščobne kisline

Znane tudi kot omega-9 maščobne kisline, ki se nahajajo v olivnem in arašidovem olju ter varujejo pred koronarno srčno boleznijo in nekaterimi vrstami raka. Primer je oleinska kislina (Dimosthenopoulos in sod., 2010). Znižujejo nivo LDL in pojavnost koronarne srčne bolezni. Preprečujejo tudi številne bolezni prebavil, saj spodbujajo jetra k izločanju žolča in ugodno vplivajo na nadzor glikemičnega indeksa bolnikov s sladkorno boleznijo (Genton in sod., 2011b).

- Večkrat nenasičene maščobne kisline

Razdeljene so v skupini omega-3 in omega-6 maščobnih kislin. Med omega-6 maščobne kisline sodijo (Dimosthenopoulos in sod., 2010):

- 18:2 linolna kislina;
- 18:3 gama-linolenska kislina;
- 20:3 dihomogama-linolenska kislina;
- 20:4 arahidonska kislina.

Primeri omega-3 maščobnih kislin so (Dimosthenopoulos in sod., 2010):

- 18:3 alfa-linolenska;
- 20:5 eikozapentanojska kislina;
- 22:5 dokozapentanojska kislina;
- 22:6 dokozahexanojska kislina.

Linolna, alfa-linolenska in arahidonska kislina so zaradi več dvojnih vezi večkrat nenasičene (McMurry in Simanek, 2007). Linolna kislina se nahaja v sončničnem olju, alfa-linolenska kislina v sojinem olju, arahidonska kislina v mesu, mleku in mlečnih izdelkih, dokozapentanojska kislina (DPA) in eikozapentanojska (EPA) v ribjem olju, palmitinska kislina v palmovem olju in stearinska v živalskih maščobah (White, 2009). Delež posamezne maščobne kisline je odvisen od njene vrste. Najvišja koncentracija linolne kisline je v estrih holesterola, sledijo fosfolipidi in najnižja v trigliceridih. Koncentracija oleinske kisline ima obratno zaporedje. Arahidonska kislina predstavlja 27 %

delež fosfolipidov, 2 % plazme in manj kot 1 % koncentracije v maščobnem tkivu (Wood in sod., 1987). Maščobne kisline imajo enostavno strukturo, in sicer karboksilno skupino na enem in metilno skupino na drugem koncu ogljikovega ogrodja, ki ga običajno sestavlja 6 do 24 atomov, označenih s številkami (Hellerstein, 1999). Poimenovanje je izpeljano iz (Hellerstein, 1999):

- števila ogljikovih atomov;
- števila dvojnih vezi;
- položaja prve dvojne vezi ogljikove verige nasproti karboksilne skupine.

Poimenovane so sistematično kot derivati karboksilnih kislin. Sistematska imena maščobnih kislin so kompleksna, zato se pogosto splošno uporabljajo alternativna oziroma trivialna imena. Ta so izpeljana iz informacij o strukturi, ki običajno odraža tudi vir kisline. Pri takšnem poimenovanju se uporabljata dve številki; prva odraža dolžino verige in druga število dvojnih vezi. Primer: oktadekanojska kislina z osemnajst ogljikovimi atomi in eno dvojno verigo je označena kot 18:1. (Scrimgeour in Harwood, 2007).

Preglednica 2: Struktura maščobnih kislin, sistematska in trivialna imena nekaterih maščobnih kislin (Scrimgeour in Harwood, 2007)

Table 2: Structure, systematic and trivial names of some common fatty acids (Scrimgeour in Harwood, 2007)

Struktura	sistematsko ime	trivialno ime
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	heksadekanojska	palmitinska
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	oktadekanojska	stearinska
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Z-9-oktadekanojska	oleinska
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$	E-11-oktadekanojska	vakcenska
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_2(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Z,Z-9,12-	linolna
	oktadekadienojska	
$\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_3(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	Z,Z,Z-9,12,15-	alfa-linolenska
	oktadekatienojska	
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_4(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	Z,Z,Z,Z-5,8,11,14-	arahidonska
	eikozatetraenojska	
$\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_5(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	Z,Z,Z,Z,Z-5,8,11,14,17-	EPA
	eikozapentaenojska	
$\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_6(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	Z,Z,Z,Z,Z,Z-4,7,10,13,16,19-	DHA
	dokozaheksaenojska	

Poznanih je preko tisoč maščobnih kislin z različnimi dolžinami verig, pozicijo, konfiguracijo in vrsto nenasičenosti ter številni substituenti vzdolž alifatske verige (Scrimgeour in Harwood, 2007). V naravi se sicer pogosto pojavlja le približno dvajset

maščobnih kislin; od tega predstavljajo palmitinska, oleinska in linolna kislina približno 80 % olj in maščob (Scrimgeour in Harwood, 2007).

1.2 STEREOIZOMERIJA, *CIS/TRANS* KONFIGURACIJA, NASTANEK *TRANS* MAŠČOBNIH KISLIN

Ena od značilnosti organskih spojin je, da pri njih lahko obstajajo številne vrste izomerij. Izomeri so spojine z enako elementarno (bruto) formulo, vendar z različno sekvenco atomov ali različno prostorsko razvrstitvijo atomov ali funkcionalnih spojin. Izomerija se deli na (Tišler, 2013):

- stereoizomerijo (različno prostorsko razporeditev pri isti sekvenci, kamor spada tudi geometrijska (*cis-trans*) izomerija in
- konstitucijsko (različno sekvenco atomov).

Stereoizomerijo je predvidel že leta 1874 van t'Hoff, prvi kemik, ki mu je bila podeljena Nobelova nagrada. Igra izredno pomembno vlogo pri vseh življenjskih procesih in kemičnih reakcijah (Tišler, 2013). Dvojna vez med ogljikovimi atomi v enkrat ali večkrat nenasičenih maščobnih kislinah obstaja v *cis* ali *trans* konfiguraciji. Kadar se vodikova atoma nahajata na nasprotni strani dvojne vezi, sta v *trans* oziroma na isti strani v *cis* konfiguraciji (White, 2009). Konfiguracija dvojne vezi med dvema ogljikovima atomoma je označena s črkama Z ali E; za opisovanje geometrije dvojnih vezi se sicer pogosteje uporabljata termina *cis* in *trans*, okrajšana kot *c* in *t* (Scrimgeour in Harwood, 2007). TMK imajo drugačne fizikalno-kemijske lastnosti kot *cis* nenasičene maščobne kisline, saj imajo bolj rigidno ogljikovo verigo, drugačno polarnost in višje tališče (Valenzuela in Morgado, 1999; Wassel in Young, 2007); oleinska kislina v *cis* konfiguraciji se tali pri 4 do 13 °C, *trans* izomer elagična kislina pri 42 do 44 °C. Pri *trans* konfiguraciji sta radikala, vezana na ogljikova atoma dvojne vezi, nameščena na nasprotni strani verige v diagonalni strani, kar je razlog, da je kot ob dvojni vezi pri *trans* konfiguraciji v primerjavi s *cis* manjši, zato ima molekula močnejšo strukturo in posledično višje tališče (Filip, 2009). TMK v Codex Alimentariusu (Codex Alimentarius, 2013), definirane kot vsi geometrijski izomeri enkrat in večkrat nenasičenih maščobnih kislin z vsaj eno metilno skupino in dvojno vezjo med ogljikovima atomoma v *trans* konfiguraciji, se v prehrani pojavljajo pogosteje kot *cis* nenasičene maščobne kisline, saj (Eckel in sod., 2007; Wassel in Young, 2007):

- vplivajo na strukturo, mazavost in teksturo oziroma konsistenco, trdnost, elastičnost in krhkost;
- podaljšajo življenjsko dobo živil;
- izboljšajo okus;
- zmanjšajo občutljivost živil na oksidacijo;
- preprečujejo utekočinjenje;
- povečajo stabilnost med shranjevanjem na sobni temperaturi in cvrtjem;
- izboljšajo stabilnost emulzij.

TMK, ki se v prehrani nahajajo kot naravne in industrijsko proizvedene, so produkt (Bhardwaj in sod., 2011):

- Mikrobne transformacije nenasičenih maščobnih kislin prežvekovalcev

V majhnih količinah so naravno prisotne v živalski maščobi in v izdelkih, ki jih vsebujejo (npr. meso, mleko in izdelki iz njih) (Nacionalni inštitut za javno zdravje, 2014). TMK, ki nastanejo z bakterijsko presnovo nenasičenih maščobnih kislin prežvekovalcev, predstavljajo relativno majhen delež maščob v mlečnih izdelkih (2 do 5 % skupnih maščobnih kislin) in govejem ali ovčjem mesu (3 do 9 % skupnih maščobnih kislin) (Aro in sod., 1998; O'Donnell–Megaro in sod., 2011). Ti deleži se spreminjajo glede na geografsko lego in način hranjenja živali (O'Donnell–Megaro in sod., 2011). Maščobne kisline z dvema ali več konjugiranimi dvojnimi vezmi so konjugirane kisline. Maščoba prežvekovalcev vsebuje majhne količine (približno 1 %) konjugirane linolne kisline (CLA), kar je posledica biohidrogenacije linolne in alfa-linolenske kisline v vampu živali, pri čemer običajno nastane izomer 18:2 9*c*,11*t* (rumenska kislina) (Scrimgeour in Harwood, 2007) ter vakcenska kislina (Lock in Bauman, 2004). Izomera *c*9 in *t*11-konjugirana linolna kislina predstavljata približno 90 % skupnih izomerov (Steinhart in sod., 2003); vakcenska kislina 50 do 80 % skupnih *trans* maščob (Lock in Bauman, 2004). Izomer *trans* 16:1 *n*-7 se nahaja izključno v maščobi prežvekovalcev. Glede na majhno vsebnost TMK v živalskih maščobah ugotavljajo, da je težko zaužiti velike količine TMK prežvekovalcev.

- Industrijskega procesa delne hidrogenacije rastlinskih olj

Trans konfiguracija je termodinamsko stabilnejša od *cis* konfiguracije in manj kemično reaktivna (Sadler, 2005), zato so zaradi nestabilnosti rastlinskih olj z visokim deležem nenasičenih maščobnih kislin, nagnjenih k oksidaciji in žarkosti, uvedli proces hidrogenacije (Klonoff, 2007), pri katerem se olja s pomočjo nikljevega katalizatorja pretvori v trdne maščobe (Martin in sod., 2007). Gre za adicijo vodika na dvojno vez med ogljikovimi atomi v prisotnosti katalizatorja (McMurry in Simanek, 2007). Adicija označuje reakcijo, pri kateri se atomi (molekule, deli molekul) reaktanta vežejo z dvojno ali trojno vezjo v molekuli organske spojine. Dvojna vez je hidrogenirana ali reducirana (McMurry in Simanek, 2007). Popolna hidrogenacija oziroma redukcija vseh dvojnih vezi vodi v nastanek nasičenih maščob, medtem ko pri delni hidrogenaciji nastanejo *cis* nenasičene maščobne kisline in TMK. TMK se med hidrogenacijo pri visoki temperaturi oblikujejo kot posledica izomerizacije *cis* nenasičenih maščobnih kislin; nenasičene maščobne kisline po termodinamiki namreč lažje izgubijo vodikov atom in tvorijo dvojno vez v *trans* konfiguraciji kot sprejmejo vodikov atom in se pretvorijo v nasičeno obliko (Barylko–Pikielna in Osucha, 1990). Proces izomerizacije vpliva na strukturo, tališče in sposobnost maščobnih kislin za prileganje v strukturo membran oziroma vezavo na receptorje (Arab, 2003). Delno hidrogenirana olja, ki vsebujejo TMK, so v prehransko industrijo vpeljali zaradi daljše obstojnosti, oksidativne stabilnosti in delne trdnosti na sobni temperaturi (Mozaffarian in sod., 2006). V delno hidrogeniranih rastlinskih oljih se najpogosteje pojavljajo izomeri *trans* C 18:1 v 85 do 95 %, C 18:2 8 do 22 %, C 18:3 1 do 7 % in C 16:1 približno 0,04 % (Žbikowska, 2010). Izomera 18:1 in 18:2 imata različne biofizikalne značilnosti, kar vodi do hipoteze, da imata različen vpliv na nastanek srčno-žilnih obolenj (SŽO). V primerjavi s TMK prežvekovalcev jih lahko delno hidrogenirano rastlinsko olje vsebuje celo do 60 % v skupnih maščobnih kislinah (Gebauer in sod., 2011).

- Toplotne obdelave olj

TMK nastajajo tudi med deodorizacijo olj pri 180 do 270 °C, rafinacijo pri 60 do 100 °C in cvrtjem na 180 °C ali več, pri čemer potekajo reakcije oksidacije, hidrolize, izomerizacije, polimerizacije in ciklizacije (Bouchon, 2009). Med rafinacijo olja segrejejo in deodorirajo, da izboljšajo njihove organoleptične lastnosti, kar povzroči tvorbo TMK (Martin in sod., 2007). TMK, ki nastanejo med toplotno obdelavo živil, so zdravju škodljive, saj povzročajo srčno-žilna obolenja, sladkorno bolezen in debelost. Njihov nastanek se povečuje s povišanjem temperature olja, časom izpostavljenosti visokim temperaturam in z izpostavljenostjo zraku in svetlobi. Ocvrte jedi vsebujejo veliko maščob, predvsem preveč škodljivih maščob, čeprav živila cvremo v koristnih oljih. Zaradi tega je uporaba povečanih količin ocvrtih živil dodaten prehranski dejavnik tveganja za nastanek prezgodnje obolevnosti, skupaj s povečano količino skupnih in slabih maščob (nasičenih in nenasičenih TMK) ter tvorbo akrilamida (Ur.I.RS, 2005).

1.2.1 *Trans* maščobne kisline v prehrani

TMK se kot neželena sestavina lahko pojavljajo v številnih industrijskih izdelkih, kot so drobno sladko in slano pecivo, torte, izdelki iz listnatega testa in kvašenega testa, ocvrte sladice, ocvrt krompir in druge ocvrte jedi, rastlinske masti, trde margarine ter predpripravljena pokovka (Nacionalni inštitut za javno zdravje, 2014). Med najpomembnejše vire sicer sodijo margarina, slaščice in ocvrta živila (Mozaffarian in Willet, 2007). Margarina je emulzija tipa voda v olju. Vodna faza je sestavljena iz vode, soli in konzervansov, maščobna faza, ki prispeva k polimorfnemu obnašanju margarine, je mešanica olj in drugih maščob. Emulgatorji, ki se pogosto dodajajo skupaj z aromami, barvili in antioksidanti, so lecitin, monoacilglicerol in diacilglicerol. Lastnosti kvalitetne margarine ne dovoljujejo ločitve faz, razbarvanja, strjevanja, peščenosti ali zrnatosti. Konsistenco margarine pri katerikoli temperaturi dajejo komponente kristalov, opisuje jo indeks trdnosti (Chateris in Keogh, 1991). Mozair (Moziar in sod., 1989) je dokazal, da na njeno teksturo in konsistenco bolj kot indeks trdnosti vplivajo pogoji izdelave margarine in kristalna mreža. Najpomembnejša lastnost margarin je mazavost; ta se doseže z ravnotežjem vodne in oljne faze, enakomerno razpršenostjo kristalov v kristalni mreži, ki preprečuje pronicanje vode, in taljenjem kristalov pri temperaturi, nižji od telesne (Greenwell, 1981; Chateris in Keogh, 1991).

1.3 MERJENJE MAŠČOBNIH KISLIN V ORGANIZMU

Številne maščobne kisline se lahko endogeno sintetizirajo, podaljšujejo in vstopajo v proces nasičenja. Ti procesi vplivajo na uporabo merjenja maščobnih kislin kot pokazateljev njihovega zaužitja. Merjenje relativnih deležev maščobnih kislin (oziroma pokazateljev le teh) v tkivih posameznikov je iz več razlogov eden najbolj zahtevnih analitičnih postopkov. Pred analizo se zahteva natančen odvzem in priprava vzorca. Za precizno določitev deležev posameznih maščobnih kislin v tkivu je potrebno izvesti kromatografijo in individualno spremljati dogajanje v kromatografski kolumni. Vsak proces vključuje faze ločitve, identifikacije in kvantifikacije. Pogosto je potrebna hidroliza maščobnih kislin v neesterificirani obliki. Metode za ločevanje maščobnih frakcij vključujejo tankoplastno

kromatografijo. Za ugotavljanje posameznih maščobnih kislin se lahko uporabi plinsko kromatografijo, plinsko tekočinsko ali tekočinsko kromatografijo. Izbira je odvisna od različnih dejavnikov (Arab, 2003). Merjenje vnosa TMK zaradi škodljivega vpliva na zdravje predstavlja vedno večji interes (Gupta in sod., 2009). Dejavniki, ki vplivajo na merjenje koncentracije maščobnih kislin kot pokazateljev, so (Arab, 2003):

- vnos s prehrano;
- relativna količina drugih maščobnih kislin v mediju (maščobne kisline so namreč izražene kot delež skupne, ne absolutne vrednosti v krvi ali maščobi);
- uporaba dodatkov (npr. kapsul ribjega olja);
- genetski polimorfizmi encimov elongaze in desaturaze;
- vzorec tkiva in proces njegove obdelave;
- količina vzorca;
- rokovanje in shranjevanje vzorca;
- analitična metoda;
- lipoliza;
- prehranski status (primanjkljaj železa, cinka, bakra ali magnezija);
- lipogeneza;
- bolezni: cistična fibroza, malabsorpcija, jetrna ciroza, sladkorna bolezen, Zellwegerjev sindrom;
- oksidacija.

Kot pokazatelji zunanjega vnosa TMK v organizmu služijo (Sun in sod., 2007):

- maščobno tkivo;
- kri;
- membrane eritrocitov;
- serum ali plazma;
- specifične frakcije plazme.

Maščobne kisline se lahko merijo kot proste maščobne kisline v serumu, komponente trigliceridov v obtoku, fosfolipidov ali estrov holesterola (Arab, 2003). Različni pokazatelji odsevajo vnos maščob preko nekaj ur do več let nazaj (Gupta in sod., 2009). Pokazatelj, ki odraža najkrajše časovno obdobje uživanja maščobnih kislin, so maščobne kisline v hilomikronih. Ti odsevajo prehranski vnos maščob, ki takoj po obroku vstopijo v enterohepatični obtok (Arab, 2003). Meritve v serumu ali plazmi odražajo prehranski vnos v preteklih nekaj urah (trigliceridi) ali nekaj dneh (estri holesterola in maščobne kisline v fosfolipidih). Proste maščobne kisline so vezane na albumin in se iz maščobnega tkiva sprostijo v primeru padca hormona inzulina ali nizkega krvnega sladkorja. Kot pokazatelji vnosa maščob se lahko uporabljajo tudi membrane rdečih krvničk in krvne ploščice – te odražajo dolgotrajnejši vnos maščob kot trigliceridi v obtoku. Odvzema se jih s flebotomijo (Arab, 2003).

Najboljši medij za merjenje vnosa maščobnih kislin je maščobno tkivo, v katerem se, v kolikor ni prišlo do izgube telesne mase, odraža dolgotrajni prehranski vnos maščob. Maščobno tkivo je najboljši pokazatelj dolgotrajnega vnosa maščob, vendar je zaradi

invazivne narave aspiracije tkiva njegova uporaba precej zmanjšana (Gupta in sod., 2009). Belo maščobno tkivo je presnovno aktivno, saj nadzira sproščanje neesterificiranih maščobnih kislin v obtok in privzem prehranskih maščobnih kislin v adipocite s pomočjo lipoproteinske lipaze (Arab, 2003). Najprimernejši pokazatelj vnosa maščobnih kislin predstavlja kri; ta se v primerjavi z drugimi pokazatelji najpogosteje uporablja zaradi relativno enostavnega zbiranja, obdelave in shranjevanja; najustreznejši je vzorec, odvzet na tešče. Odvzete vzorce je potrebno shranjevati pri zelo nizki temperaturi in transportirati shranjene v suhem ledu (Gupta in sod., 2009). Vsebnost TMK je bolje meriti v rdečih krvničkah kot v plazmi, saj je korelacija s SŽO močnejša. Eritrociti so v primerjavi s plazmo tudi pokazatelj dolgotrajnega vnosa TMK, verjetno zaradi daljše življenjske dobe, kot jo imajo plazemske maščobne frakcije (Sun in sod., 2007). Rdeče krvničke oziroma njihove membrane odražajo vnos maščob v približno 120 dneh, približni življenjski dobi (Arab, 2003).

1.4 PREBAVA MAŠČOB

Maščoba v prehrani je hidrofozna, kar oteži mehanizme njihove prebave in absorpcije v črevesu. Začne se v ustih in nadaljuje v želodcu, absorpcija v zgornjih tretjinah jejunuma (Frangos in Forbes, 2011). Pogoji za absorpcijo trigliceridov je njihova cepitev do maščobnih kislin in monogliceridov. Maščobe se sicer absorbirajo s 95 % učinkovitostjo, preostalo se izloči s fecesom (Frangos in Forbes, 2011). Prebava in absorpcija maščob sta razdeljeni v dve fazi (Carpentier in Sobotka, 2011):

- Luminalna faza

Maščoba se iz agregatov hrane med žvečenjem in kasneje z gastričnimi in intestinalnimi kontrakcijami mehanično dispergira. Encimatska hidroliza maščob se začne z lingualno lipazo in nadaljuje v želodcu, duodenumu in jejunumu pod vplivom pankreatične lipaze, tripsinsko aktivirane kolipaze, kakor tudi fosfolipidaz, holesterolaz in drugih esteraz. Oblikovanje majhnih emulzificiranih delcev omogoča žolč z lastnostmi detergenta oziroma žolčne soli, ki oblikujejo micele (Carpentier in Sobotka, 2011), v premeru 2 nanometra (nm) velike delce (Frangos in Forbes, 2011). Končni produkt lipolize so maščobne kisline in beta-monoacilglicerol. Proste maščobne kisline, monoacilglicerol, holesterol, lizofosfolipidi in v maščobi topni vitamini se v mešanih micelih prenesejo do sluznic (Carpentier in Sobotka, 2011).

- Mukozna faza

Mešani miceli v bližini črevesne sluznice disociirajo in omogočijo absorpcijo lipidnih molekul v tankem črevesu, medtem ko se žolčne soli absorbirajo v terminalnem ileumu. Večji del holesterola (približno 50 %) in večina rastlinskih sterolov se ponovno izloči v sluznico črevesa. Znotraj enterocitov se glicerol in monogliceridi reesterificirajo s prostimi maščobnimi kislinami in tvorijo trigliceride. Ti se skupaj s holesterolom, estri holesterola, fosfolipidi in v maščobi topnimi vitamini vgradijo v lipoproteinske delce, katerim se pridružijo apoproteini (apo B-48 in A-1) in tvorijo hilomikrone. Ti se sprostijo v limfne vozle in dosežejo sistemski krvni obtok. V nasprotju z dolgo verižnimi maščobnimi

kislinami so srednje verižne relativno vodo topne in se večinoma preko portalnega krvnega obtoka direktno prenesejo v jetra (Carpentier in Sobotka, 2011).

Lipoproteini so specializirane komponente maščob. Njihove osnovne funkcije so (Carpentier in Sobotka, 2011):

- prenos trigliceridov iz črevesa in jeter do perifernih tkiv;
- prenos holesterola in fosfolipidov do perifernih tkiv, žlez in jeter;
- prenos v maščobi topnih vitaminov;
- prenos antioksidativnih encimov;
- nevtralizacija endotoksinov;
- oboje smerni prenos nekaterih delcev med obtokom in notranjo steno krvnih žil.

Glede na gostoto so razdeljeni v štiri skupine (Dimosthenopoulos in sod., 2010):

- hilomikrone;
- lipoproteine zelo nizke gostote VLDL;
- lipoproteine nizke gostote LDL;
- lipoproteine visoke gostote HDL.

Hilomikroni so delci, ki se oblikujejo v črevesu, prenašajo maščobe v jetra in drugam po telesu. V jetrih se pretvorijo v lipoproteine zelo nizke gostote (VLDL). VLDL in LDL delci, ki izhajajo iz presnove VLDL in prenašajo maščobo do celic (Dimosthenopoulos in sod., 2010). VLDL prenašajo predvsem trigliceride in v maščobi topne vitamine iz jeter v periferna tkiva. Ko se izločijo v obtok, kar se zgodi večinoma med obroki, se presnovijo podobno kot hilomikroni in oblikujejo se delci, lipoproteini srednje gostote, imenovani IDL. Približno 50 % teh delcev se endocitira in odstrani pretežno v jetrih, preostali del je podvržen dodatni razgradnji trigliceridov in se pretvori v s holesterolom bogat LDL (Carpentier in Sobotka, 2011). LDL in lipoprotein visoke gostote (HDL) sta odgovorna za prenos holesterola; LDL prenaša holesterol v celice, medtem ko HDL odstranjuje odvečni holesterol iz celic in ga prenaša nazaj v jetra, kjer se razgradi oziroma odstrani (t. i. reverzni transport holesterola). Holesterol je uvrščen med maščobe, čeprav glede na kemijsko zgradbo pripada sterolom (Dimosthenopoulos in sod., 2010). Ima zelo pomembno vlogo, saj je pomembna sestavina celičnih membran; predhodnik sinteze žolčnih soli, emulgatorjev maščob; sodeluje pri sintezi vitamina D in steroidnih hormonov, vključno s kortizolom, aldosteronom in spolnimi hormoni (Dimosthenopoulos in sod., 2010). Holesterol je zelo občutljiv na oksidacijo (Dimosthenopoulos in sod., 2010).

1.5 PREHRANA IN BOLEZNI

Prehrana vpliva na nastanek, napredovanje in preprečevanje kroničnih nenalezljivih bolezni (KNB), med katere spadajo SŽO, rak, sladkorna bolezen in hipertenzija (Willett in sod., 2006; Flock in Kris–Eherton, 2011). Ocene Svetovne zdravstvene organizacije (SZO) za leto 2002 kažejo, da so bile v Evropi KNB v 86 % vzrok vseh smrti. Tudi v Republiki Sloveniji (RS) je več kot 70 % smrti posledica najpogostejših KNB. Poleg bioloških dejavnikov za te bolezni, kot so genetska dispozicija, spol in starost, so pomembni dejavniki tveganja za njihov nastanek tudi zvišan krvni tlak, moten nivo maščob v krvi, zvišan holesterol v krvi, zvišan krvni sladkor, prekomerna telesna teža ter dejavniki nezdravega življenjskega sloga – kajenje, telesna nedejavnost, nepravilna prehrana, alkohol in stres. Različne bolezni imajo številne skupne dejavnike tveganja, če ima posameznik sočasno prisotnih več dejavnikov tveganja, se njihov vpliv ne seštevata, ampak množi (Ur. l. RS, 2005). Čeprav so TMK industrijskega izvora poznane že več kot stoletje, so njihovi vplivi na zdravje znani šele zadnjih nekaj desetletij. Leta 1994 so prvič ugotovili, da imajo TMK bistveno večji vpliv na razvoj ateroskleroze kot nasičene maščobne kisline. Danes je znano, da je njihov aterogeni vpliv celo 10-krat večji kot vpliv nasičenih maščobnih kislin (Nacionalni inštitut za javno zdravje, 2014).

1.5.1 Srčno-žilna obolenja

Kot nakazujejo kontrolirane klinične in druge opazovalne raziskave, so TMK dejavnik tveganja za nastanek SŽO, saj imajo škodljive učinke na maščobe, in sicer povzročajo povišanje LDL in znižanje HDL; z vplivom na aktivacijo sistema tumor nekroznega faktorja-alfa (TNF-alfa), povišanjem nivoja interlevkina-6 (IL-6) in C-reaktivnega proteina (CRP) spodbujajo vnetje; vplivajo pa tudi na endotelijsko disfunkcijo (Mozaffarian 2009a). V zadnjih nekaj desetletjih je postalo jasno, da endotelij ni samo skupek celic, ki pokriva notranjo površino krvnih žil, temveč ima pomembno vlogo pri regulaciji žilnega tonusa in njeni strukturi. Zdrav endotelij zavira adhezijo levkocitov in trombocitov na površini krvnih žil (Libby, 2002). Endotelijske celice oblikujejo antitrombotično in protivnetno oviro, katera aktivno sodeluje pri vzdrževanju žilne homeostaze. Endotelij s sproščanjem dušikovega oksida (NO) spodbuja vazodilatacijo, zavira vnetje in trombozo; NO, katerega iz L-arginina sprošča endotelijska sintaza (eNOS), ni samo glavni dejavnik endotelijsko odvisne vazodilatacije, temveč tudi prispeva k zaščitnim učinkom zdravega endotelija; zaradi tega je pomembna komponenta endogene zaščite pred aterosklerozo in njenimi zapleti. Izguba funkcionalne integritete endotelija, katera sodi med dejavnike tveganja za nastanek bolezni, ima pomembno vlogo v vseh fazah ateroskleroze, od začetne lezije do končne rupture (Behrendt in Ganz, 2002; Landmesser in sod., 2004). Kopičenje holesterola, ki se zgodi v penastih celicah makrofagov v steni arterij, vodi v nastanek aterosklerotičnih oblog, zato je proces njegove razgradnje in odstranitve bistvenega pomena. Holesterol v zunajceličnem mediju, limfi in plazmi, sprejemajo HDL delci, ki so odgovorni za odstranjevanje odvečnega holesterola. Ta funkcija HDL je, odkar je znano, da je visok nivo povezan z zmanjšanim tveganjem SŽO, osnova epidemioloških opazovanj (Moore in sod., 2013). Prisotnost fosfolipidov HDL delcem omogoča topnost in transport neesterificiranega oziroma prostega holesterola, sproščenega iz celic (Rosenson in sod., 2012). Ta sposobnost

dokazuje, da ima HDL antiaterogeni učinek (Rosenson in sod., 2012), ki se kaže kot (Yamashita in sod., 2010):

- odstranjevanje holesterola in reverzni transport;
- protivnetna aktivnost;
- antioksidativen učinek;
- zaviranje apoptoze;
- vazodilatatorna aktivnost;
- obnova endotelija;
- antitrombotski učinek;
- preprečevanje okužb.

Antiaterogeni učinek HDL je posledica njegovega odstranjevanja s holesterolom nakopičenih makrofagov iz arterij v jetra, kjer se razgradi in odstrani iz telesa (t. i. reverzni transport holesterola) (Rosenson in sod., 2012). Koncentracija HDL se uporablja kot pokazatelj odstranitve holesterola iz tkiv. Reverzni transport holesterola poteka kot (Rosenson in sod., 2012):

- arterijska, z makrofagi specifična odstranitev;
- arterijska odstranitev brez makrofagov;
- nearterijska odstranitev;
- prenos z lipoproteini;
- hepatični privzem holesterola;
- direktno izločanje v tanko črevo;
- izločanje s fecesom.

Prvi korak v reverznem transportu holesterola je prenos prostega holesterola iz plazemskih membran celic do HDL. Proces je lahko pasiven, če poteka kot difuzija ali olajšana difuzija in aktiven, kadar gre za vključitev transmembranskih prenašalcev ABCA1 in ABCG1 (Adorni in sod., 2007). Zaradi te sposobnosti ima HDL protivneten in imunosupresiven učinek (Yvan-Charvet in sod., 2010), izboljšuje pa tudi endotelijsko funkcijo, zavira oksidacijo LDL, nastanek ateroma in ima antioksidativne lastnosti (Rochu in sod., 2010). Nizek HDL je že dolgo znan kot močan in neodvisen dejavnik tveganja koronarne srčne bolezni. Tveganje je večje tudi v primeru, ko je LDL nizek (Castelli, 1988). Presnova HDL in reverzni transport predstavljata glavni tarči v razvoju novih terapij zdravljenja ateroskleroze. HDL ima lahko pomembno vlogo pri procesih, kot so preprečevanje endotelijske disfunkcije in spodbujanje tvorbe endotelijskega NO in prostaciklinov (Lewis in Rader, 2005).

TMK v hidrogeniranih oljih povišajo nivo LDL, skupnega holesterola in apolipoproteina B ter zmanjšajo nivo HDL in apolipoproteina A (Lichtenstein in sod., 2003). Ti učinki dokazujejo, da so TMK bolj škodljive od nasičenih maščob (Sartika, 2011). Znanstveniki na Harvardski univerzi (Dorfman in sod., 2009) so dokazali, da je v Združenih državah Amerike (ZDA) leta 2001 30.000 ljudi umrlo zaradi SŽO, povezanih s TMK. SŽO so v skoraj 50 % vodilni vzrok smrti prebivalcev Republiki Sloveniji; v 57 % po 65. letu starosti. Izračunana ogroženost za koronarno srčni bolezen glede na prisotne dejavnike

tveganja v RS kaže, da je pomembno število prebivalcev v starosti nad 45 let ogroženih zaradi srčnega infarkta (Ur. l. RS, 2005).

1.5.2 Sladkorna bolezen

Sladkorna bolezen (diabetes mellitus) je skupina različnih bolezni, ki jim je skupna previsoka koncentracija glukoze v krvi. Tega v normalnih mejah vzdržuje hormon inzulin, ki ga izdeluje trebušna slinavka. Kadar trebušna slinavka izloča premalo inzulina ali pa se telesna tkiva na inzulin ne odzivajo v dovolj veliki meri, se krvni sladkor dvigne nad normalno mejo. Previsok krvni sladkor z leti okvari drobno in veliko žilje ter lahko povzroči možgansko kap, srčno kap, ledvično odpoved, slepoto, okvaro živcev in skupaj z okvaro žilja nog privede do amputacije. Te posledice previsokega krvnega sladkorja imenujemo zapleti sladkorne bolezni (Nacionalni program za obvladovanje sladkorne bolezni, 2010).

Sladkorna bolezen predstavlja globalni zdravstveni problem; pojavnost leta 2010 po svetu je znašala 6,4 %, kar predstavlja 285 milijonov ljudi, starih med 20 in 79 let, leta 2030 približno 439 milijonov. Sladkorna bolezen tipa 2 je četrti glavni vzrok smrti v razvitih državah. Dokazi kažejo, da je v številnih državah že dosegla razsežnosti epidemije (Rahati in sod., 2014). Gre za bolezen, ki jo je težko zdraviti in zmanjša življenjsko dobo za približno 10 let (Astrup, 2001; Kastorini in sod., 2009). Škodljivi učinki TMK na SŽO so dobro znani (Hu in Willett, 2002; Erkkila in sod., 2008), medtem ko je njihova vloga pri nastanku sladkorne bolezni tipa 2 manj znana. TMK lahko vplivajo na funkcije celičnih membran in posledično na periferno inzulinsko občutljivost ter tveganje za nastanek sladkorne bolezni tipa 2 (Risérus, 2006).

1.5.3 Rak

Obstaja povezava med večjim uživanjem rastlinskih maščob in posledično večjim vnosom TMK in rakom. Od takrat naprej številne raziskave temeljijo na predpostavki, da povečan vnos TMK lahko poveča tveganje za nastanek raka, predvsem raka dojke, črevesa in prostate, kar pojasnjujejo z možnostjo, da imajo škodljivo, hormonom podobno aktivnost (Enig in sod., 1978).

2 NAMEN, HIPOTEZE ALI RAZISKOVALNA VPRAŠANJA

NAMEN

Namen magistrske naloge je pregledati znanstveno literaturo o *trans* maščobnih kislinah in njihovem vplivu na zdravje ljudi. Preučiti priporočila, ki navajajo najvišji dovoljeni vnos *trans* maščobnih kislin v dnevni prehrani ljudi, in pregledati, ali je področje zakonsko urejeno.

CILJI

Cilji magistrske naloge so naslednji:

- pregledati literaturo s področja *trans* maščobnih kislin;
- ugotoviti, kako vplivajo na zdravje ljudi in ali predstavljajo prehranski dejavnik tveganja za nastanek bolezni;
- ugotoviti, ali je možno z zamenjavo *trans* maščobnih kislin z omega-3 in -6 zmanjšati tveganje za nastanek kroničnih nenalezljivih bolezni;
- pregledati zakonodajo, ki ureja področje *trans* maščobnih kislin v različnih državah in primerjati s stanjem v Sloveniji.

HIPOTEZE

- *Trans* maščobne kisline povzročajo srčno-žilna obolenja, saj škodljivo vplivajo na krvne maščobe, z vnetjem in endotelijsko disfunkcijo povzročajo nastanek ateroskleroze in koronarne srčne bolezni.
- *Trans* maščobne kisline povečajo tveganje za nastanek raka.
- Vnos *trans* maščobnih kislin vpliva na nastanek sladkorne bolezni tipa 2.

RAZISKOVALNA VPRAŠANJA

- Ali so *trans* maščobne kisline v prehrani škodljive zdravju?
- Ali predstavljajo *trans* maščobne kisline dejavnik tveganja za nastanek kroničnih nenalezljivih bolezni?
- Ali omejitev dnevnega vnosa *trans* maščobnih kislin zmanjša tveganje za zdravje?

3 METODE DELA IN MATERIALI

Magistrska naloga je teoretična naloga, ki temelji na pregledu literature, opravljenem s pomočjo iskanja preglednih znanstvenih člankov – prispevkov iz revij, ki izhajajo iz spletnih baz podatkov, kot so Science Direct, Wiley Online, Proquest ter s pomočjo informacijskega servisa EBSCOhost iz podatkovnih baz CINAHL in Medline, kjer je iskanje raziskav potekalo s pomočjo posebnih omejitev za celotno besedilo – raziskovalni članek, naključna kontrolirana raziskava in meta sinteza. Uporabljenih je 222 virov, največji del predstavljajo pregledni znanstveni članki, večinoma spletni viri. Pri iskanju raziskav sem se osredotočala na kakovost dokazov in upoštevala, da imajo meta analize in sistematični pregledi randomiziranih raziskav najvišjo veljavnost, sledijo sistematični pregledi raziskav primerov in kontrol ter kohortnih raziskav; za doseganje večje natančnosti rezultatov sem uporabila nekaj raziskav z zelo velikim vzorcem, z več desetisoč osebami, vključenimi vanje. Ostalo literaturo predstavljajo monografije, prispevki iz monografij, zakoni in drugi spletni viri. Iskanje je potekalo s pomočjo ključnih besed: *trans* maščobne kisline, srčno-žilna obolenja, lipoproteini, koronarna srčna bolezen, rak, sladkorna bolezen, inzulinska rezistenca, vsebnost v živilih, alternativne maščobe, reformulacija, zakonodaja, Slovenija; *trans fatty acid, cardiovascular disease, lipoproteins, coronary heart disease, cancer, diabetes, insulin resistance, food content, alternatives, reformulation, legislation*.

4 REZULTATI

4.1 FIZIOLOŠKI UČINKI *TRANS* MAŠČOBNIH KISLIN

TMK na različne načine vplivajo na presnovo maščob. *In vitro* spremenijo izločanje, sestavo in velikost delcev apoB-100, ki jih tvorijo jetrne celice (Dashti in sod., 2002; Mitmesser in Carr, 2005). Te spremembe so povezane z zmanjšanjem velikosti delcev LDL (Mauger in sod., 2003) in spremembami nivojev serumskih maščob (Mensink in sod., 2003). TMK *in vitro* povečajo tudi celično akumulacijo in izločanje prostega holesterola in holesterolnih estrov (Dashti in sod., 2002). Pri ljudeh uživanje TMK poviša plazemsko koncentracijo transfernega proteina holesterolnega estra (van Toll in sod., 1995), encima, ključnega pri prenosu holesterolnih estrov iz HDL v LDL in VLDL. Povečana aktivnost pojasni padec nivoja HDL in porast LDL in VLDL (Ascherio in sod., 1999; Mensink in sod., 2003). HDL so najmanjši (7 do 12 nm v premeru) in najbolj gosti plazemski lipoproteini. So delci, sestavljeni iz proteinov in maščob; približno ena tretjina do polovica je sestavljena iz visoko specializiranih proteinov, imenovanih apolipoproteini (apo-), od katerih prevladujeta apoA-I in apoA-II (Rochu in sod., 2010). Ti imajo pomembno vlogo v strukturi lipoproteinov, njihovi topnosti in presnovi (Dimosthenopoulos in sod., 2010). ApoA-I je prisoten je v večini HDL delcev in predstavlja približno 70 % vsebnosti apolipoproteinov v teh delcih; kot rezultat plazemska koncentracija ApoA-I korelira s koncentracijo HDL. ApoA-I se izloča iz jeter in črevesa. ApoA-II je drugi najpogostejši apolipoprotein, ki se v HDL delcih nahaja v približno dveh tretjinah (Lewis in Rader, 2005). Preostala polovica HDL je sestavljena iz fosfolipidov, prostega in esterificiranega holesterola, trigliceridov, v maščobi topnih vitaminov in antioksidantov. Strukturo mu daje hidrofobno jedro (pretežno iz estrov holesterola in manjšega deleža trigliceridov), obdano s fosfolipidi in neesterificiranim holesterolom ter številnimi proteini (Rochu in sod., 2010). LDL prenašajo holesterol in fosfolipide, pomembne za celično obnovno tkiv. Običajno se po vezavi na specifičen LDL receptor iz obtoka odstranijo z endocitozo; proces poteka v jetrih in je, zaradi možnosti celične akumulacije holesterola, kontroliran z regulacijskimi mehanizmi. LDL s procesom transcitoze lahko prehaja endotelij, kar pomeni, da ga je 25 do 30 % normalno prisotnega v intimnem prostoru krvnih žil. V fizioloških pogojih se LDL vrne v obtok; možno je, da ga v intimi napadejo prosti radikali, katere tvorijo lokalni makrofagi in povzročajo peroksidativno škodo, saj jih fagocitirajo in povzročajo tvorbo penastih celic. Oksidirani LDL (oxLDL) je citotoksičen in povzroča vnetne reakcije znotraj stene arterij, kar povzroči nastanek ateroskleroznih lezij in endotelijsko disfunkcijo (Carpentier in Sobotka, 2011).

TMK regulirajo odgovor monocitov in makrofagov, kar se odraža v povečani tvorbi TNF-alfa, IL-6 in monocitno kemoatraktivnega proteina 1. TMK povišajo nivo pokazateljev endotelijske disfunkcije in poslabšajo arterijsko dilatacijo (Mozaffarian in sod., 2006). Vplivajo tudi na presnovo adipocitov, ki se odraža v zmanjšanem privzemu trigliceridov, zmanjšani esterifikaciji novo sintetiziranega holesterola in povečani tvorbi prostih maščobnih kislin (Matthan in sod., 2001). Vpliv maščob na povezavo med vnosom TMK in nivoji IL-6 in CRP kaže na to, da so vnetni učinki TMK lahko delno posledica maščobnega

tkiva (Mozaffarian in sod., 2004). Fiziološki učinki TMK se izražajo kot vpliv na (Mozaffarian in sod., 2006):

- koncentracijo serumskih maščob;
- sistemsko vnetje;
- endotelijsko celično funkcijo;
- inzulinsko rezistenco.

TMK predstavljajo dejavnik tveganja za nastanek koronarne srčne bolezni, saj povzročajo (Mensink in Katan, 1990; Zock in Katan, 1992; Abbey in sod., 1994; Judd in sod., 1994; van Toll in sod., 1995; Mozaffarian in sod., 2006; Harvey in sod., 2008):

- povišanje transfernega proteina holesterolnega estra;
- povišanje LDL;
- znižanje HDL;
- vnetje s stimulacijo TNF-alfa, IL-6 in CRP;
- endotelijsko disfunkcijo.

4.1.1 Koncentracija serumskih maščob

Mensink in Katan sta se leta 1990 zaradi pomanjkanja dokazov o učinkih TMK na krvne maščobe odločila narediti raziskavo (Mensink in Katan, 1990). V njej je sodelovalo 34 žensk, povprečno starih 26 let in 25 moških, starih 25 let. Pred začetkom raziskave so udeleženci poročali o svojih prehranskih navadah, da so lahko ocenili njihove energijske potrebe in vnos hranil. Izmerili so jim vrednosti krvnih maščob, ki so znašale 3,4 do 7,15 milimola na liter (mmol/l) – skupni holesterol 0,63 do 2,38 mmol/l – HDL in 0,36 do 2,54 mmol/l – trigliceridi. Dobili so tri diete, ena je imela visoko vsebnost oleinske kisline, druga *trans* izomerov oleinske kisline in tretja nasičenih maščob; TMK so predstavljale 10,9 % skupnih zaužite energije. Udeležence raziskave so naključno razdelili v šest skupin, tako da je bilo v vsaki skupini približno isto število udeležencev na posamezno kategorijo. Rezultati so pokazali, da je nivo skupnega holesterola v skupini, ki je uživala TMK, v primerjavi z oleinsko kislino in nasičenimi maščobami višji za 0,26 mmol/l (10 miligrama na deciliter (mg/dcl)), HDL nižji za 0,17 mmol/l (7 mg/dcl), LDL višji za 0,37 mmol/l (14 mg/dcl), trigliceridi višji za 0,13 mmol/l (12 mg/dcl), najvišji nivo plazemskega apolipoproteina B, razmerje LDL:HDL, kakor tudi razmerje skupnega holesterola:HDL; učinek TMK na zniževanje HDL je bil opazen na 54 od 59 udeležencev. Avtorja sta ugotovila, da imajo TMK hiperholesterolemičen učinek – v primerjavi z enkrat nenasičenimi maščobnimi kislinami TMK povišajo serumski LDL in zmanjšajo HDL.

V zadnjih dvajset letih, odkar so v raziskavah (Williams in sod., 2003; Adiels in sod., 2005) začeli proučevati LDL in HDL ter vplive na SŽO, se je biologija lipoproteinov ukvarjala z raznolikostjo v velikosti in sestavi plazemskih LDL in HDL delcev. LDL delci so glede na velikost v premeru, izraženo v nanometrih, razdeljeni v 7 podkategorij (Krauss in Burke, 1982; Nichols in sod., 1986):

- LDL-I (27,2–28,5);

- LDL-IIa (26,5–27,2);
- LDL-IIIb (25,6–26,5);
- LDL-IIIa (24,7–25,6);
- LDL-IIIb (24,2–24,7);
- LDL-IVa (23,3–24,3);
- LDL-IVb (22,0–23,3).

Tudi HDL delci so glede na velikost razvrščeni v 5 podkategorij (Blanche in sod., 1981):

- HDL_{3c} (7,2–7,8);
- HDL_{3b} (7,8–8,2);
- HDL_{3a} (8,2–8,8);
- HDL_{2a} (8,8–9,7);
- HDL_{2b} (9,7–12,0).

Raziskave so dokazale, da so LDL delci odgovorni za najbolj škodljive učinke LDL (Williams in sod., 2003) in povečanje HDL delcev za zaščitne učinke HDL (Adiels in sod., 2005).

Preglednica 3: Parametri dislipidemije in njihove vrednosti (European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice, 2012)

Table 3: Parameters of dyslipidemia and their values (European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice, 2012)

Parameter	Vrednost v mmol/l	Vrednost v mg/dcl
Skupni holesterol	>5	190
LDL	>3	115
HDL	< 1 (m), < 1,2 (ž)	40 (m), 46 (ž)
Trigliceridi	>1,7	150

Kot nakazuje pregled 10 raziskav, ki jih je izvedla Evropska agencija za varno hrano (EFSA) (European Food Safety Authority, 2004), je učinek TMK na LDL in HDL potrjen s kliničnimi raziskavami. V meta analizi 8 kontroliranih raziskav (Mensink in sod., 2003) so ugotovili, da TMK, kadar zamenjajo 1 % energije iz ogljikovih hidratov, povišajo serumski LDL za 0,04 mmol/l. Mauger (Mauger in sod., 2003) je ugotovil, da uživanje delno hidrogeniranega sojinega olja v obliki poltrde margarine, ki vsebuje 0,6 do 26 g TMK na 100 g, znižuje velikost LDL delcev, kar je v odvisnosti od količine potencialno neodvisen dejavnik tveganja za nastanek SŽO. Meta analiza (Mozaffarian 2009b) 13 randomiziranih kontroliranih raziskav je dokazala, da izokalorična zamenjava nasičenih ali *cis* nenasičenih maščobnih kislin s TMK poviša LDL in zniža HDL, kar pomembno napoveduje tveganje za koronarno srčno bolezen. Ta učinek so dokazali tudi v drugih raziskavah (Matthan in sod., 2004; Sun in sod., 2007). TMK namreč povišujejo koncentracijo ApoA-I in znižujejo razgradnjo LDL ApoB-100. Rezultati raziskave (Matthan in sod., 2004) so pokazali, da so imeli posamezniki, ki so uživali hidrogenirano maščobo v primerjavi s posamezniki, ki so uživali nasičeno maščobo, za 7 % nižjo koncentracijo HDL in višjo koncentracijo trigliceridov. TMK v primerjavi z ostalimi maščobami (Mensink in sod., 2003) zvišujejo

tudi nivo krvnih trigliceridov, Lp-alfa in zmanjšujejo velikost delcev LDL (Mauger in sod., 2003), kar poveča tveganje za nastanek SŽO in se navezuje predvsem na povezavo med TMK in vnetnimi pokazatelji, kot tudi endotelijsko disfunkcijo (Berneis, 2007).

Povezava med nivojem TMK v eritrocitih, pokazateljih prehranskega vnosa in serumskimi maščobami je bila ocenjena na 327 ženskah v prospektivni raziskavi (Sun in sod., 2007). Dokazali so, da TMK v dnevnem vnosu 2,5 do 3,6 g povzročajo dvig LDL in upad HDL ter povišajo razmerje LDL:HDL (Referenčne vrednosti za vnos hranil, 2004). Tudi finska randomizirana raziskava (Louheranta in sod., 1999) na 14 ženskah je pokazala, da so koncentracije skupnega holesterola, HDL in LDL, trigliceridov in apolipoproteina B po zaužitju TMK v primejavi z enkrat nenasičenimi maščobnimi kislinami višje. Raziskava (Almendingen in sod., 1995), izvedena na moških, ki so tri tedne uživali tri različne margarine, izdelane iz maslene maščobe, delno hidrogeniranega sojinega oziroma ribjega olja, pri čemer so TMK zagotavljale 0,9 %, 8,5 in 8,0 % energije je pokazala, da delno hidrogenirano ribje olje v primerjavi z delno hidrogeniranim sojinim oljem precej zviša LDL (3,94 oziroma 3,58 mmol/l) in v primerjavi z maslom zniža HDL (0,98 oziroma 1,05 mmol/l).

4.1.2 Sistemsko vnetje

Sistemsko vnetje nastane zaradi citokinov, eikozanoidov in hormonov (Jensen in sod., 2011). Prvi citokin, odkrit pred več kot trideset leti in povezan z vnetjem, je TNF-alfa. Prvotno so ga zaradi povezave s pojavom kaheksije pri miših poimenovali kaheksin (Jensen in sod., 2011). Kasneje so med akutnimi in kroničnimi stanji odkrili še ostale citokine, vključno z IL-1 in IL-6. Celični viri IL-1 so monociti, makrofagi, astrociti, epitelne celice, endotelij, fibroblasti in dendritske celice; viri IL-6 makrofagi, T-celice, fibroblasti in TNF-alfa, makrofagi, limfociti in adipociti (Gimble, 2011). Ti citokini nastanejo v črevesu (s stimulacijo v črevesu prisotnega limfnega tkiva) ter lokalno na ranjenem tkivu (Genton in sod., 2011a). Njihovo izločanje povzroči kompleksen endokrini in presnovni odgovor. IL-1 in TNF-alfa povzročata imunoregulacijo, vnetje, anoreksijo, sintezo proteinov akutne faze, razgradnjo mišic, povečano novo tvorbo glukoze in razgradnjo maščob; IL-6 sintezo proteinov akutne faze in diferenciacijo imunskih celic. Citokini direktno vplivajo na imunski sistem in spodbujajo proces vnetja. Sistemsko vnetje povzroči s citokini povezane spremembe izločanja hormonov in funkcije organov. Akutno in kronično vnetje je povezano s presnovnimi motnjami, ki se odražajo z izgubo celične mase, kar je eden od znakov kaheksije. To vključuje inzulinsko rezistenco, povečano razgradnjo in oksidacijo maščob ter obrat beljakovin. Citokini, ki povzročajo vnetje, imajo ključno vlogo pri regulaciji proteinske kinetike mišic, vključno s spodbujanjem razgradnje mišičnih beljakovin in zmanjšano sintezo beljakovin, sproženjem apoptoze ter vplivanjem na krčljivost in funkcijo mišic (Jensen in sod., 2011). Učinek na sistemsko vnetje se lahko delno pojasni z vplivom TMK na ravnotežje prostaglandina (prekursorja eikozanoidov). Učinek na te procese lahko vpliva na trombogenezo in oslabi aktivnost desaturaze, encima, odgovornega za pretvorbo linolne kisline v arahidonsko in druge omega-6, večkrat nenasičene maščobne kisline. Ta inhibicija spremeni presnovo esencialnih maščobnih kislin (Estadella in sod., 2013).

Odkar je znano, da ima vnetje pomembno vlogo pri patogenezi SŽO, predstavlja merjenje nivoja pokazateljev vnetja metodo, s katero je možno predvideti nastanek bolezni (Ridker in sod., 2000). Dokazi kažejo, da TMK spodbujajo vnetje. Pri ženskah je povečan vnos TMK povezan z večjo aktivnostjo sistema TNF; pri tistih s povišano telesno maso tudi z višjim nivojem IL-6 in CRP (Mozaffarian in sod., 2004). Vpliv TMK na vnetje so dokazali v randomizirani kontrolirani raziskavi (Han in sod., 2002), izvedeni na moških, katerih vrednost LDL je presegala 130 mg/dcl. Raziskava je trajala 32 dni in zajemala 3 vrste prehrane; prvo je predstavljalo sojino olje z 0,6 % energije iz TMK, drugo margarina na osnovi sojinega olja s 6,7 % TMK in tretjo maslo. Dokazali so, da sta koncentraciji IL-6 in TNF-alfa pri udeležencih, ki so uživali margarino, v primerjavi s sojinim oljem višja.

To so dokazali tudi v raziskavi (Lopez-Garcia in sod., 2005), v kateri so na zdravih ženskah preučevali učinke TMK na plazemske koncentracije pokazateljev vnetja in endotelijske disfunkcije, med katere sodijo CRP, IL-6, topen receptor TNF (sTNFR-2), E-selektin in topne medcelične in žilno-celične adhezijske molekule (sICAM-1 in sVCAM-1). Raziskavo (Lopez-Garcia in sod., 2005) so izvedli tako, da so poprečni vnos TMK razdelili v kvintile, pri čemer je ta od najnižjega proti najvišjemu znašal 1,5, 2,1, 2,4, 2,9 in 3,7 g na dan. Najpogosteje uporabljeni vir TMK je predstavljala *trans* oleinska kislina. Ugotovili so, da so bile ženske v najvišjem kvintilu mlajše, z višjim indeksom telesne mase (ITM), manj telesno aktivne in pogosteje kadilke kot tiste v najnižjem; nivo CRP glede na najvišji in najnižji kvintil je bil višji za 73 %, IL-6 17 %, sTNFR 25 %, E-selektin 20 % in topne adhezijske molekule za 10 %, pri čemer je bil vnos TMK pozitivno povezan z njihovimi plazemskimi koncentracijami. Analizirali so tudi različne izomere TMK in ugotovili, da vnos oleinske kisline (*t18:1n-9*) močnejše korelira s koncentracijami pokazateljev vnetja kot *trans* palmitoleinska kislina (*t16:1n-7*) ali *trans* linolenska kislina (*t18:2n-6*).

V kontrolirani raziskavi (Baer in sod., 2004), izvedeni na 50 posameznikih, ki so pet tednov uživali prehrano, ki je zagotavljala 15 % energije iz beljakovin, 39 % iz maščob in 46 % iz ogljikovih hidratov, pri čemer je bilo 8 % maščob oziroma maščobnih kislin zamenjanih s TMK, so ocenjevali njihovo vlogo, posebej vlogo TMK pri spremembi koncentracij pokazateljev vnetja. TMK so povzročile dvig koncentracije CRP in E-selektina. Ridker in sodelavci (Ridker in sod., 2000) so v triletnem sledenju 28.263 zdravim ženskam po menopavzi prišli do zaključka, da so plazemski nivoji pokazateljev vnetja CRP, IL-6, sICAM-1 pri ženskah, ki so zbolele za SŽO, višji kot pri zdravih ter da je CRP pokazatelj, ki najmočnejše napoveduje nastanek SŽO. Pri ljudeh s srčno boleznijo je nivo membranskih TMK (pokazatelj prehranskega vnosa TMK) neodvisno povezan z aktivacijo sistemskega vnetnega odgovora, vključno s povišanim nivojem IL-6, TNF-alfa, TNF receptorjev in monocitno kemoatraktivnega proteina 1 (Mozaffarian in sod., 2004).

V raziskavi (Bendsen in sod., 2011b), v kateri je sodelovalo 52 žensk, so primerjali učinke uživanja industrijsko proizvedenih TMK (26 g delno hidrogeniranega sojinega olja na dan, kar zagotavlja 15,7 g industrijsko proizvedenih TMK) s kontrolno skupino (olje z nizko vsebnostjo TMK, ki je mešanica 50 % palmovega in 50 % sončničnega olja). Dvojno slepa raziskava je trajala 16 tednov in zajemala vzporedno prehransko intervencijo. Rezultati so pokazali, da je serumska koncentracija TNF-alfa v skupini, ki je uživala industrijsko proizvedene TMK, narasla za 10 ± 3 % in upadla za 2 ± 2 % v kontrolni skupini. Srednja

koncentracija TNF-alfa v primerjavi s kontrolno skupino po 16 tednih je bila višja za 12 %. Plazemska koncentracija TNF-R1 je narasla za 22 ± 7 % in pri kontrolni skupini upadla za 3 ± 6 %. Razliko so opazili tudi v koncentraciji TNF-R2, ki je v primerjavi s kontrolno skupino narasla za 14 ± 3 %. Visok vnos TMK (približno 7 % dnevne energijske vrednosti) poveča aktivnost sistema TNF, kar se kaže v povišani koncentraciji TNF-alfa v obtoku in njegovih topnih receptorjih TNF-R1 in TNF-R2. Ti receptorji so pozitivno povezani s koronarno srčno boleznijo. Rezultati te raziskave, prve, ki poroča o povečani sistemski koncentraciji TNF-alfa po zaužitju industrijsko proizvedenih TMK, tako podpirajo ugotovitve prejšnjih analiz, da je povečana pojavnost koronarne srčne bolezni povezana z uživanjem industrijsko proizvedenih TMK, ki povzročajo nizko stopnjo sistema vnetja. Povezava med uživanjem teh maščob in TNF-alfa obstaja tudi ob dodatnem vnosu enkrat nenasičenih maščobnih kislin. Pri ženskah je porast TNF-R1 in TNF-R2 v približno 60 % povezan z 2,5-krat večjim tveganjem za nastanek koronarne srčne bolezni. Koncentracije TNF-alfa in TNF-R so povišane tudi pri bolnikih s srčno odpovedjo, višja sistemski koncentracija TNF-alfa pa poveča tveganje za nastanek ponovne koronarne bolezni po miokardnem infarktu. Prisotnost vnetja je neodvisni dejavnik tveganja pri nastanku ateroskleroze, nenadne srčne smrti, srčne odpovedi in sladkorne bolezni (Albert in sod., 2002; Libby in sod., 2002; Vasan in sod., 2003; Pickup, 2004), zato je škodljivost TMK potrebno vključiti v promocijo srčno-žilnega zdravja. Dokazi kažejo, da razlika v nivoju CRP pri povprečnem vnosu TMK, ki znaša 2,1 % v primerjavi z 0,9 % skupne energijske vrednosti (Lopez-Garcia in sod., 2005) za približno 30 % poveča tveganje za nastanek bolezni.

4.1.3 Endotelijska funkcija

Raziskave (Baer in sod., 2004; Lopez-Garcia in sod., 2005) navajajo, da TMK povzročajo endotelijsko disfunkcijo. Definirana kot zmanjšana dostopnost NO, potencialnega vazodilatatorja in povečana afiniteta površine endotelija za levkocite, se pogosto pojavi v začetni fazi ateroskleroze (Assmann in Gotto, 2004). Dokazali so (Lopez-Garcia in sod., 2005), da visok vnos TMK poviša nivo pokazateljev endotelijske disfunkcije, vključno s topno medcelično adhezijsko molekulo 1, topno žilno-celično adhezijsko molekulo 1 in E-selektinom. V randomizirani raziskavi (Baer in sod., 2004), izvedeni na 50 moških, ki so pet tednov uživali različne vrste prehrane, sestavljene iz 39 % maščob, od tega je ena vrsta vsebovala 8 % TMK, so dokazali, da je koncentracija CRP, ki je neodvisni dejavnik tveganja za nastanek SŽO ob visokem vnosu TMK povišana. Opazili so tudi povišanje koncentracij IL-6, fibrinogena in E-selektina. Povišan E-selektin povečuje tveganje za nastanek koronarne srčne bolezni. V kontrolirani raziskavi (de Roos in sod., 2001), izvedeni na moških, ki so 4 tedne uživali prehrano, obogateno z margarino, so dokazali, da uživanje TMK v primerjavi z nasičenimi maščobami zmanjša brahialno arterijsko dilatacijo za 29 %.

Kummerow (Kummerow in sod., 2007) je naredil raziskavo, v kateri je ugotovil, da endotelijske celice, gojene v mediju, ki vsebuje 100 mikromolov maščobnih kislin hidrogeniranega sojinega olja, vsebujejo TMK v fosfolipidih membran in posledično izločajo manj prostaciklina kot celice, gojene v nehidrogeniranem olju. TMK

hidrogeniranega olja zavirajo pretvorbo linolne kisline v arahidonsko in izločanje prostaciklina, ki preprečuje strjevanje krvi.

Nekaj raziskav (Cockerill in sod., 2001; Spieker in sod., 2002) dokazuje, da HDL izboljšuje endotelijsko funkcijo; ima antioksidativno sposobnost (Mackness in Durrington, 1995), zaradi česar preprečuje oksidacijo LDL in posledično njegov škodljiv vpliv na endotelij. Varuje pred nastankom ateroskleroze, saj odstranjuje holesterol iz perifernih celic, zato je zdravljenje usmerjeno v odstranitev holesterola iz stene arterij. Povišan plazemski nivo LDL povzroča funkcionalne poškodbe endotelija, kar vodi v nastanek morfoloških lezij. V raziskavi (Spieker in sod., 2002), v kateri so sodelovali zdravi ljudje s povišanim holesterolom, katerih vrednost LDL ni presegala 4 mmol/l in zdravi brez povišanega holesterola z največ 3,5 mmol/l, so preučili učinke HDL bolnikov s povišanim holesterolom na endotelijsko funkcijo. Dokazali so, da povišan plazemski nivo HDL s povišanjem dostopnosti NO normalizira oslABLJENO endotelijsko funkcijo. HDL *in vitro* zavira izražanje s citokini spodbujene adhezije levkocitov endotelijskih celic (Cockerill in sod., 2001).

4.1.4 Koronarna srčna bolezen

Prehranski vnos TMK iz delno hidrogeniranih rastlinskih olj škodljivo vpliva na srčno-žilni sistem, saj povečuje tveganje za nastanek koronarne srčne bolezni (Mozaffarian 2009b). Dokazi kažejo, da TMK povečajo tveganje za nastanek koronarne srčne bolezni, saj škodljivo vplivajo na serumske maščobe in lipoproteine (Ascherio in sod., 1999; Mauger in sod., 2003; Mensink in sod., 2003; Mozaffarian in sod., 2006), povzročajo sistemsko vnetje (Baer in sod., 2004; Mozaffarian in sod., 2004; Lopez-Garcia in sod., 2005) in endotelijsko funkcijo (de Roos in sod., 2001; Baer in sod., 2004; Lopez-Garcia in sod., 2005). Delno hidrogenirana rastlinska olja, glavni vir TMK v Združenih državah Amerike letno povzročijo 30.000 do 100.000 prezgodnjih smrti zaradi koronarne srčne bolezni, ki je glavni vzrok miokarnega infarkta, ta pa vzrok polovice smrti zaradi SŽO (Ascherio in sod., 2004).

Povezava med TMK in koronarno srčno boleznijo se navezuje na aterosklerozo (Mozaffarian in sod., 2006) z nizko stopnjo vnetja, ki oslabi endotelij koronarnih arterij in povišan nivo pokazateljev vnetja, kot so proteini akutne faze in citokini. Vnetje ima ključno vlogo pri destabilizaciji in rupturi aterosklerotičnih plakov, ki povzročajo SŽO (Madjid in Willerson, 2011). CRP prispeva k aterosklerozi, saj vpliva na aktivacijo komplementa, apoptozo, vaskularno celično aktivacijo, akumulacijo maščob in trombozo (Paffen in DeMaat, 2006). Ateroskleroza v pozni fazi preprečuje tok krvi ali vpliva na krvni strdek, ki v endotelijskih celicah nastane zaradi pomanjkanja prostaciklinov (Mozaffarian in sod., 2006). Oboje se odraža v pomanjkanju hranil za srčno mišične celice, ki posledično prenehajo delovati. Ciklooksigenaza-2 (COX-2) je encim, ki izomere, nastale med hidrogenacijo maščob prepozna kot tujke in nanje reagira tako, da sproži vnetje in zavira prostaciklin (Vane in sod., 1994). Mehanizem nastanka koronarne srčne bolezni (Kummerow, 2009):

1. Oksidacija maščobnih kislin in holesterola do LDL

LDL se oksidira do oxLDL in holesterol do oksisterola (Hessler in sod., 1983; Zhou in sod., 1993). Ti se nalagajo v endotelijske plasti arterij in ven, kar lahko spremeni sestavo fosfolipidnih celičnih membran, ki se odraža v večji količini sfingomielina, zaradi česar membrane postanejo prepustnejše za kalcij. Oksisteroli spodbujajo kalcifikacijo (poapnevanje) (Zhou in sod., 1991). Oksidacija holesterola in nalaganje kalcija je primarni vzrok nastanka ateroskleroze v arterijah in venah (Hessler in sod., 1983; Zhou in sod., 1991; Zhou in sod., 1993; Kummerow in sod., 2000). LDL-IVb predstavlja manjši del LDLa (manj kot 10 %), vendar ima največji vpliv na nastanek stenoze oziroma ateroskleroze (Blanche in sod., 1981).

2. Odlaganje TMK v krvožilnem sistemu, arterijah in venah

TMK z nalaganjem v žilah in kalcifikacijo povzročajo krvne strdke. Zavirajo COX-2, encim, potreben za pretvorbo arahidonske kisline do prostaciklina, ki preprečuje nastanek krvnih strdkov v koronarnih arterijah (Vane in sod., 1994; Vane in sod., 1998; Kummerow in sod., 1999; Mozaffarian in sod., 2006; Kummerow in sod., 2007); krvni strdek lahko namreč povzroči nenadno srčno smrt (Johnston in sod., 1957; Kummerow in sod., 1999). Za prikaz procesa kalcifikacije, povzročenega s TMK, so naredili kulture endotelijskih celic. Prva kultura je vsebovala nenaravno elagično kislino in druga naravno oleinsko kislino; obe so testirali z radioaktivnim kalcijem. V endotelijskih celicah prve kulture z elagično kislino so opazili več kalcija kot v drugi kulturi (Kummerow in sod., 1999). Avtopsija ljudi, ki so umrli zaradi srčne bolezni, je dokazala, da so imeli visoko vsebnost TMK, in sicer 12,2 % v maščobnem tkivu, 14,4 % v jetrih, 9,3 % v tkivu srčne mišice in 8,8 % v aorti in ateromu (Johnston in sod., 1957).

Preglednica 4: Prospektivne kohortne raziskave, ki so preučevale vnos maščobnih kislin in dokazale vpliv *trans* maščobnih kislin na nastanek koronarne srčne bolezni

Table 4: Prospective cohort studies evaluating fatty acid intake and confirming *trans* fatty acid effect on coronary heart disease

Referenca	Metode dela	Vzorec	Rezultati
Pietinen in sod., 1997	6-letno sledenje	n = 21930 (m)	1399 primerov, 635 smrti
Oh in sod., 2001	20-letno sledenje	n = 78778 (ž)	1766 primerov, 525 smrti
Oomen in sod., 2001	10-letno sledenje	n = 667 (m)	98 primerov, 49 smrti

Legenda: n (m/ž) – število udeležencev (moški/ženske)

Raziskave (Hu in sod., 2001; Oomen in sod., 2001; Oh in sod., 2005) dokazujejo, da je vnos TMK povezan s tveganjem za nastanek koronarne srčne bolezni. TMK povišujejo LDL in znižujejo HDL, dejavnika tveganja za nastanek bolezni ter povišajo razmerje skupnega holesterola:HDL, ki je glavni dejavnik tveganja; zaradi tega vpliva so TMK najbolj škodljivo makrohranilo (Mensink in sod., 2003). V raziskavi (Oh in sod., 2005), v kateri je sodelovalo 78.778 žensk, ki so jih spremljali 20 let, so dokumentirali 1766

primerov koronarne srčne bolezni, od tega 525 z njo povzročenih smrti. 20-letno sledenje raziskave je pokazalo, da je vnos TMK neodvisno od drugih prehranskih dejavnikov in dejavnikov tveganja SŽO povezan s povečanim tveganjem za nastanek koronarne srčne bolezni.

Nizozemski raziskovalci so naredili raziskavo (Oomen in sod., 2001), s katero so želeli dokazati, da obstaja povezava med uživanjem TMK in koronarno srčno boleznijo. V raziskavo je bilo vključenih 667 moških prebivalcev nizozemskega mesta Zutphen, starih med 64 in 84 let, v osnovi brez diagnoze koronarne srčne bolezni. Informacije o dejavnikih tveganja in vzorcih prehranjevanja so s pomočjo prehranskih vprašalnikov in medicinskih pregledov, ki so vključevali odvzem venske krvi za določitev skupnega holesterola in HDL, pridobivali v letih 1985, 1990 in 1995. V tem času je povprečen dnevni vnos TMK iz 10,9 g upadel na 6,9 g in 4,4 g. Z metodo prehranske zgodovine so ugotavljali, kakšen je bil povprečen vzorec prehranjevanja sodelujočih mesec dni pred začetkom raziskave. Moški, ki so imeli višji vnos TMK, so bili pogostejše kadilci in imeli povišano koncentracijo skupnega holesterola v serumu. Med 10-letnim sledenjem so dokumentirali 98 novih primerov (15 % osnovne populacije) koronarne srčne bolezni, vključno z 49 srčnimi smrtmi. Ugotovili so, da je vnos TMK pozitivno povezan z 10-letnim tveganjem nastanka bolezni. Povprečen vnos TMK med letoma 1985 in 1995 je sicer s 4,3 % upadel na 1,9 % dnevne energijske vrednosti. Izračunano relativno tveganje 2 % razlike energije iz TMK za nastanek koronarne srčne bolezni je predstavljalo približno 30 % in tveganje za smrt zaradi bolezni med 30 in 35 %. Z raziskavo so potrdili, da visok vnos kateregakoli izomera TMK prispeva k večjemu tveganju nastanka koronarne srčne bolezni in da zmanjšanje vnosa TMK za 2,4 % lahko prispeva k zmanjšanju smrti zaradi te bolezni za 23 %, kar pomeni 4600 od 20.000 letno.

Povezavo med vnosom specifičnih maščobnih kislin in tveganjem za koronarno srčno bolezen so preučevali v raziskavi The Alpha-Tocopherol, Beta-Carotene Cancer Prevention Study (Pietinen in sod., 1997), ki so jo izvedli na 21.930 moških, kadilcih, starih med 50 in 69 leti, ki niso imeli diagnoze SŽO. Vsi sodelujoči so izpolnili natančen in validiran prehranski vprašalnik, v katerem je bilo 276 živil in 122 fotografij z velikostjo živil, vsaka v 3 do 5 velikostih. Vsakega sodelujočega so prosili, da poroča o pogostosti uživanja hrane in velikosti obrokov v prejšnjih 12 mesecih. Pogostost so merili kot število na mesec, teden oziroma dan. Vsebnost maščobnih kislin so na Univerzi v Helsinkih, Oddelku za kemijo prehrane določili na 77 maščobnih kislinah oziroma njihovih izomerih. V analizo so vključili vse *trans* izomere s 16 do 22 ogljikovimi atomi (C16:1, C18:1 in C18:2, C20:1 in C22:1). Po 6 letih spremljanja so avtorji dokumentirali 1399 velikih SŽO in 635 koronarnih smrti. Ugotovili so, da so med maščobnimi kislinami TMK edine, ki povzročajo velike koronarne zaplete in da je relativno tveganje koronarne smrti pri moških z najvišjim deležem zaužitih TMK približno 38 %.

Mozaffarian in Clarke (Mozaffarian 2009b) sta z meta analizo 13 randomiziranih kontrolnih raziskav ocenjevala povezavo med uživanjem TMK in koronarno srčno boleznijo. Na osnovi meta analize prospektivnih kohortnih raziskav sta zaključila, da zamenjava 2 % skupne energijske vrednosti iz ogljikovih hidratov poveča tveganje za

nastanek bolezni za 24 %. V primeru zamenjave enakega deleža TMK z nasičenimi maščobami, enkrat ali večkrat nenasičenimi maščobnimi kislinami tveganje upade za 17 %, 21 % oziroma 24 %. Zamenjava TMK z drugimi maščobami ali ogljikovimi hidrati tveganje za koronarno srčno bolezen zmanjša (Mozaffarian 2009b). Dokazala sta, da izokalorična zamenjava nasičenih ali *cis* nenasičenih maščobnih kislin s TMK poviša LDL in zniža HDL. V primerjavi z zaužitjem enake količine energije iz nasičenih ali *cis* nenasičenih maščob, zaužitje TMK povišuje nivo LDL, zmanjšuje nivo HDL in zvišuje razmerje skupnega in HDL, kar pomembno napoveduje tveganje za koronarno srčno bolezen. TMK v primerjavi z ostalimi maščobami (Mensink in sod., 2003) zvišujejo tudi nivo krvnih trigliceridov, Lp-alfa in zmanjšujejo velikost delcev LDL (Mauger in sod., 2003). Vse to povečuje tveganje za nastanek koronarne srčne bolezni (Mozaffarian 2006b).

V raziskavi primerov s kontrolami (Ghahremanpour in sod., 2008), v kateri so na 105 bolnikih, starimi med 30 in 73 let ocenjevali povezavo med nivojem TMK v maščobnem tkivu, pokazateljem vnosa in tveganjem za nastanek koronarne srčne bolezni je, kot pričakovano, med bolniki in udeleženci v kontrolni skupini signifikantna razlika v skupnem deležu TMK maščobnega tkiva. Nivo TMK v maščobnem tkivu je v primerjavi s kontrolami višji med primeri. Med udeleženci, katere so glede na nivo TMK razdelili v tri skupine, so opazili signifikantne razlike v vrednostih LDL. Rezultati kažejo tudi, da je visok nivo skupnih TMK in *trans* (18:1) izomerov pozitivno povezanih s koronarno srčno boleznijo; tveganje za njen nastanek povečajo za 1,3-krat. Škodljiv učinek na nastanek koronarne srčne bolezni se kaže z naraščanjem plazemske koncentracije LDL, Lp-alfa, znižanjem HDL, spodbujanjem vnetja in endotelijske disfunkcije ter možnimi učinki na koagulacijo, inzulinsko rezistenco in zamenjavo membranskih esencialnih maščobnih kislin. Ti dokazi kažejo, da TMK povečujejo število s SŽO povezanih dejavnikov tveganja in pogostost nastopa koronarne srčne bolezni (Uauy in sod., 2009).

4.1.5 Sladkorna bolezen

Sladkorna bolezen tipa 1, t. i. juvenilna oziroma inzulinsko odvisna sladkorna bolezen se običajno diagnosticira pri otrocih in mladostnikih. Značilnost tega tipa bolezni je, da beta celice trebušne slinavke ne izločajo inzulina, zato zdravljenje poteka izključno z inzulinom. Sladkorna bolezen tipa 2 je inzulinsko neodvisna. Običajno se začne z inzulinsko rezistenco, stanjem, pri katerem maščobe, mišice in jetrne celice inzulina ne uporabijo pravilno. Vzrok za sladkorno bolezen tipa 2 je prekomerna telesna masa ali debelost (Katsilambros in Dimosthenopoulos, 2010).

Pomen prehranskih maščob in njihov vpliv na sladkorno bolezen tipa 2 v kliničnem področju že nekaj časa zbuja zanimanje (Risérus in sod., 2009). Kvantiteta in kvaliteta prehranskih maščob vplivata na glukozno toleranco in inzulinsko občutljivost (Rahati in sod., 2014). Odkar je znano, da inzulinska rezistenca pomembno prispeva k nastanku sladkorne bolezni tipa 2, je cilj raziskav ugotoviti, kako TMK vplivajo na inzulinsko občutljivost. Inzulinska rezistenca (nizka inzulinska občutljivost), definirana kot zmanjšan odgovor tkiv na inzulin, je glavni dejavnik nastanka presnovnega sindroma in je močno povezana z večjim tveganjem za nastanek sladkorne bolezni tipa 2 (Risérus, 2006).

Rezultati randomiziranih, s placebom kontroliranih raziskav, ki so preučevale vpliv TMK na inzulinsko rezistenco in sladkorno bolezen, so nasprotujoči (Aronis in sod., 2012).

Preglednica 5: Randomizirane kontrolirane raziskave, ki vpliva *trans* maščobnih kislin na sladkorno bolezen niso dokazale

Table 5: Randomized controlled studies confirming no effect of *trans* fatty acid on diabetes

Referenca	Metode dela	Vzorec	Rezultati
Louheranta in sod., 1999	4 tedne	n = 14 (ž) ITM = 18, 7 do 22,9 kg/m ²	<i>Trans</i> maščobne kisline na izločanje inzulina in inzulinsko občutljivost posameznikov z normalno telesno maso ne vplivajo
Lovejoy in sod., 2002	Dvojno slepa raziskava, 4 tedne	n = 25 (m, ž) ITM (n = 18) < 25 kg/m ² ITM (n = 7) 25 do 30 kg/m ²	<i>Trans</i> maščobne kisline na izločanje inzulina in inzulinsko občutljivost posameznikov z normalno telesno maso ne vplivajo
Tardy in sod., 2008	Dvojno slepa raziskava, 4 tedne	n = 63 (ž) ITM > 28 kg/m ² obseg pasu > 88 cm	<i>Trans</i> maščobne kisline industrijskega ali živalskega izvora na inzulinsko občutljivost ne vplivajo
Bendsen in sod., 2011	Dvojno slepa raziskava, 16 tednov	n = 52 (ž) ITM = 25 do 32 kg/m ² obseg pasu > 80 cm	<i>Trans</i> maščobne kisline na inzulinsko občutljivost ali funkcijo beta celic ne vplivajo

Preglednica 6: Velika prospektivna raziskava, ki je dokazala vpliv *trans* maščobnih kislin na nastanek sladkorne bolezni

Table 6: Prospective study confirming the effect of *trans* fatty acid on diabetes

Referenca	Metode dela	Vzorec	Rezultati
Salmeron in sod., 2001	Prospektivna raziskava, 14-letno sledenje	n = 82204 (ž)	<i>Trans</i> maščobne kisline povečajo tveganje

Preglednica 7: Manjše raziskave, ki so dokazale vpliv *trans* maščobnih kislin na nastanek sladkorne bolezni

Table 7: Studies confirming the effect of *trans* fatty acid on diabetes

Referenca	Metode dela	Vzorec	Rezultati
Christiansen in sod., 1997	Randomizirana raziskava, 6 tednov	n = 16 debelost	Visok vnos <i>trans</i> maščobnih kislin poviša postprandialni odgovor inzulina
Lefevre in sod., 2005	Randomizirana raziskava	n = 22 (m) ITM < 32 kg/m ²	<i>Trans</i> maščobne kisline povzročajo višje postprandialne koncentracije inzulina in C-peptida
Vega-López in sod., 2006	5 tednov	n = 5 (m), 10 (ž) ITM = 26 kg/m ²	<i>Trans</i> maščobne kisline povzročajo višji nivo inzulina na tešče in inzulinsko rezistenco

Meta analiza randomiziranih kontroliranih raziskav (Aronis in sod., 2012) je dokazala, da povečanje vnosa TMK iz 2,59 % na 7,8 % oziroma njihova odvisnosti od odmerka na koncentracijo krvnega sladkorja ali inzulina posameznikov z normalno telesno maso ne vpliva. Pri mladih posameznikih z normalno telesno maso v raziskavah, ki so trajale 4 do 5 tednov, visok vnos industrijsko proizvedenih TMK oziroma tistih živalskega izvora na inzulin in presnovo glukoze ne vpliva. Lovejoy in sodelavci (Lovejoy in sod., 2002) so z namenom ugotoviti, ali maščobe vplivajo na inzulinsko občutljivost zdravih posameznikov, izvedli randomizirano, dvojno slepo kontrolirano raziskavo, v kateri je sodelovalo 25 moških in žensk z normalno telesno maso, vključitveni kriterij za ženske je bil, da so bile pred menopavzo. Raziskava je trajala 4 tedne in primerjala učinke treh diet; vse je sestavljalo 57 % ogljikovih hidratov, 28 % maščob in 15 % beljakovin, razdeljene so bile v skupino enkrat nenasičenih maščobnih kislin, v kateri je 9 % energije predstavljala *cis* C18:1 oleinska kislina, skupino nasičenih maščob s palmitinsko kislino in TMK z C18:1 *trans* izomeri. Dokazali so, da TMK na inzulinsko občutljivost zdravih posameznikov z normalno telesno maso ne vplivajo, kar so potrdili tudi v drugi randomizirani kontrolirani raziskavi (Louheranta in sod., 1999), v kateri je 4 tedne sodelovalo 15 zdravih žensk, povprečno starih 23 do 26 let, z ITM $20,8 \pm 2,1$ kg/m². Udeleženke so uživale prehrano z

visoko vsebnostjo TMK in visoko vsebnostjo enkrat nenasičene oleinske kisline. Stopnja oksidacije maščob v primerjavi z enkrat nenasičenimi maščobnimi kislinami je bila višja (Lovejoy in sod., 2002). Tudi velika prospektivna raziskava (Van Dam in sod., 2002), izvedena na 42.504 moških, je dokazala, da vnos TMK ni povezan z nastankom sladkorne bolezni tipa 2.

Prehranska intervencijska raziskava (Bendsen in sod., 2011a) je randomizirana, dvojno slepa, vzporedna. Sodelovalo je 52 zdravih posameznic, starih med 45 in 70 let, vsaj 12 mesecev po menopavzi s prekomerno telesno maso in ITM med 25 in 32 kg/m² ter obsegom pasu nad 80 cm. 27 posameznic je bilo uvrščenih v kontrolno skupino. Vse so 16 tednov prejemale 26 g delno hidrogeniranega sojinega olja s približno vsebnostjo 60 % TMK na dan. Glede na obseg pasu in prehrano so bile razdeljene v dve skupini. Primerjali so učinek uživanja 15,7 g TMK delno hidrogeniranega sojinega olja s kontrolnim, sestavljenim iz 50 % palmovega olja in 50 % sončničnega olja z visoko vsebnostjo oleinske kisline. Prehranski vnos so pred začetkom raziskave in po njej merili z uporabo tridnevnega zapisovanja mase zaužite hrane. Razlika v prehrani obeh skupin je bila v deležu energije iz enkrat nenasičenih maščobnih kislin in TMK, kar nakazuje na to, da sta prehrani obeh skupin glede na sestavo maščobnih kislin primerljivi. Vnos TMK v skupini, ki je prejemale TMK, v primerjavi s kontrolno skupino je bil višji ($7 \pm 0,2$ % energije) in vnos enkrat nenasičenih maščobnih kislin nižji ($10,3 \pm 0,4$ % energije), delež TMK v kontrolni skupini je znašal $0,03 \pm 0$ % energije in enkrat nenasičenih maščobnih kislin $13,4 \pm 0,8$ % energije. Merili so vključitev maščobnih kislin v fosfolipide rdečih krvnih celic in ugotovili, da so imele celice posameznic, ki so prejemale TMK, po prehranski intervenciji več *trans* C18:1 izomerov, medtem ko teh v celicah posameznic iz kontrolne skupine ni bilo. Inzulinsko občutljivost so merili s pomočjo 3-urnega oralnega glukoznega tolerančnega testa, pri katerem so udeleženske zaužile 75 g glukoze, raztopljene v 300 mililitrih (ml) vode. Prehrana na koncentracije glukoze, inzulina in C-peptida ni vplivala. Dokazali so, da izokalorična zamenjava 7 % energije skupnega energijskega vnosa iz TMK s kontrolnim oljem v 16 tednih ni imela signifikantno pomembnega vpliva na inzulinsko občutljivost ali funkcijo beta celic.

V randomizirani, dvojno slepi, kontrolirani raziskavi (Tardy in sod., 2009), izvedeni na 63 ženskah, starih med 18 in 50 let, s prekomerno telesno maso – ITM, višji od 28 in abdominalno debelostjo, definirano z obsegom pasu nad 88 cm, trajajoči 4 tedne, so udeleženske po enem tednu uvajanja v raziskavo glede na prehrano razdelili v tri skupine, v vsaki izmed njih je sodelovalo 21 udeleženk; prva skupina je uživala prehrano z malo TMK (0,54 g/dan), druga prehrano z visoko vsebnostjo TMK živalskega izvora (4,86 g/dan) in tretja TMK industrijskega izvora (5,58 g/dan). Merili so periferno inzulinsko občutljivost. Raziskava je dokazala, da TMK industrijskega ali živalskega izvora, zaužite v normalnih količinah, mišične inzulinske občutljivosti prekomerno težkih ali debelih posameznic ne poslabšajo; kljub temu je potrebno upoštevati, da TMK industrijskih olj vplivajo na patogenezo SŽO (Chardigny in sod., 2008; Motard-Bélanger in sod., 2008). Ugotovitve glede TMK živalskega izvora morajo biti potrjene na zdravi populaciji, saj se nanašajo na posameznike, pri katerih je tveganje za nastanek sladkorne bolezni tipa 2 veliko in ne morejo biti ekstrapolirane na inzulinsko občutljive.

Epidemiološki podatki prospektivne raziskave (Salmeron in sod., 2001), izvedene na 84.204 ženskah brez sladkorne bolezni tipa 2 nakazujejo, da TMK povečajo tveganje za njen nastanek. Ocenili so, da zamenjava 2 % energije iz TMK z večkrat nenasičenimi maščobnimi kislinami tveganje za nastanek bolezni zmanjša za 40 %. Vega – López (Vega–López in sod., 2006) je na 15 hiperlipidemičnih posameznikih z ITM 26 kg/m^2 5 tednov primerjala učinke maščob, pri čemer so 20 % energije predstavljali palmovo, sojino olje, olje oljne ogrščice in delno hidrogenirano sojino olje, ki vsebuje 4,2 % TMK. Ocenila je nivo inzulina na tešče in inzulinsko rezistenco in ugotovila, da sta oba parametra v primerjavi s sojinim oljem in oljem oljne ogrščice višja pri palmovem in delno hidrogeniranem sojinem olju. Lefevre (Lefevre in sod., 2005) je leta 2005 na 22 prekomerno težkih posameznikih ocenjeval akutne učinke dveh posameznih obrokov s 50 % maščob, od katerih 10 % predstavljajo TMK ali enkrat nenasičene maščobne kisline. Dokazal je, da so postprandialne koncentracije inzulina in C-peptida višje pri posameznikih, ki so uživali TMK v primerjavi z enkrat nenasičenimi maščobnimi kislinami. Tudi Christiansen je v raziskavi (Christiansen in sod., 1997), v kateri so ogljikovi hidrati predstavljali 50 %, beljakovine 20 % in maščobe 30 % energije, 20 % energije zamenjal z nasičenimi maščobami oziroma nenasičenimi maščobnimi kislinami. V primerjavi z enkrat nenasičenimi maščobnimi kislinami je visok vnos TMK v 6 tednih opravljanja raziskave povzročil signifikantno povišan postprandialni odgovor inzulina.

TMK pri zdravih posameznikih z normalno telesno maso na inzulinsko občutljivost ne vplivajo, medtem ko pri posameznikih z inzulinsko rezistenco ali sladkorno boleznijo tipa 2 inzulinsko občutljivost poslabšajo. Konjugirane TMK, nekateri izomeri CLA preko vpliva na inzulinsko občutljivost izzovejo presnovne motnje. Ta učinek na inzulinsko občutljivost in peroksidacijo maščob je najpomembnejši škodljiv učinek prehranskih maščobnih kislin. Izomeri CLA se sicer nahajajo v relativno nizkih količinah, vendar lahko ima dolgotrajna izpostavljenost neželene učinke na zdravje. Mehanizem še ni popolnoma razjasnjen, predvideva pa se, da povišajo oksidativni stres, vplivajo na vnetje in endotelijsko disfunkcijo ter direktno vplivajo na regulacijo transkripcijskih faktorjev, potrebnih za optimalno inzulinsko občutljivost (Risérus, 2006). Da je vnetje vzročni dejavnik pri nastanku sladkorne bolezni, ni potrjeno, čeprav dokazi potrjujejo, da TMK vplivajo na povišanje vnetnih citokinov, ki so povezani z nastankom bolezni (Mozaffarian in sod., 2006).

4.1.6 Rak

Pet najpogostejših vrst raka pri nas – kožni (razen melanoma), raki debelega črevesa in danke, prostate, dojke in pljuč – obsegajo 59 % vseh novih primerov rakavih bolezni. Raki teh organov so sicer povezani z nezdravim življenjskim slogom, čezmernim sončenjem, nepravilno prehrano, kajenjem in čezmernim pitjem alkohola; ogroženost z njimi je treba zmanjšati z ukrepi primarne preventive. Pri moških je bil na prvem mestu z več kot 18 % vseh rakov rak prostate, pri ženskah rak dojke, dobra petina primerov vseh rakov (20,9 %) (Onkološki inštitut, 2010).

Preglednica 8: Veliki raziskavi, ki sta preučevali in dokazali vpliv *trans* maščobnih kislin na različne vrste raka

Table 8: Studies evaluating and confirming *trans* fatty acid intake on breast and prostate cancer

Referenca	Metode dela	Vzorec	Rezultati
Chajès in sod., 2008	Prospektivna raziskava, 7-letno sledenje	n = 19934 (ž)	363 primerov raka dojke
Chavarro in sod., 2008	Raziskava primerov s kontrolami, 13-letno sledenje	n = 14916 (m)	476 primerov raka prostate

Preglednica 9: Raziskave, ki vpliva *trans* maščobnih kislin na raka niso dokazale

Table 9: Studies confirming no effect of *trans* fatty acid on cancer

Referenca	Metode dela	Vzorec	Rezultati
Schuurman in sod., 1999	Kohortna raziskava, 6,3-letno sledenje	n = 58279 (m)	642 primerov raka prostate, povezave s <i>trans</i> maščobnimi kislinami ni
Pala in sod., 2001	5,5-letno sledenje	n = 4052 (ž)	71 primerov raka dojke, povezave s <i>trans</i> maščobnimi kislinami ni

V prospektivni raziskavi ORDET (Berrino in sod., 1996), ki je preučevala vplive hormonov in prehrane na nastanek raka dojke, so na 4052 postmenopavzalnih ženskah, starih 42 do 69 let z rakom dojke, katere so spremljali 5,5 let, diagnosticirali 71 primerov raka dojke. Kohortna raziskava (Pala in sod., 2001), izhajajoča iz raziskave ORDET, povezave med vnosom *trans* 18:1n-9 in rakom dojke ni dokazala. Voorrips in sodelavci so v nizozemski kohortni raziskavi (Voorrips in sod., 2002) analizirali podatke kohortne raziskave (Van den Brandt in sod., 1990), izvedene na 62.573 ženskah, starih 55 do 69 let. Po 6,3-letnem spremljanju je na podlagi prehranskih vprašalnikov dokumentirala 941 primerov bolnic z rakom dojke in ugotovila, da obstaja signifikantno pomembna povezava med vnosom TMK in tveganjem za nastanek raka dojke. Tudi Rissanen (Rissanen in sod., 2003) in sodelavci so v finski prospektivni raziskavi na 8196 ženskah preučevali 127 bolnic z rakom dojke in 242 bolnic v kontrolni skupini. Vzeli so vzorce serumskih maščob in ugotovili, da je visok vnos serumskih *trans* 18:1n-7 povezan z večjim tveganjem za nastanek raka dojke. V Raziskavi (Chajès in sod., 2008), v kateri so sedem let spremljali 19.934 žensk, sodelujočih v E3N-EPIC kohortni raziskavi (Clavel-Chapelon, 2002), ki so izpolnile prehranski vprašalnik in oddale vzorec seruma, so glede na kriterije izbrali 17.540 žensk in dokumentirali 384 primerov raka dojke, s čimer so dokazali, da TMK povišujejo tveganje za nastanek bolezni.

Hodge (Hodge in sod., 2004) je v populacijski raziskavi primerov s kontrolami, izvedeni na 858 moških, mlajših od 70 let s histološko potrjenim rakom prostate in 905 moških v kontrolni skupini ugotovil, da uživanje margarine povzroča raka prostate. Tudi drugi avtorji (Liu in sod., 2007) so v raziskavi primerov s kontrolami na 1012 moških dokazali, da visok vnos TMK prispeva k njenemu nastanku. Ugotovili so, da vnos TMK, kakor tudi

posamezne vrste teh maščobnih kislin, kažejo statistično pomembno povezavo z rakom prostate. Primerjava najnižjega in najvišjega vnosa TMK je pokazala, da višji, kot je vnos, večje je tveganje. Chavarro (Chavarro in sod., 2008) in sodelavci so v raziskavi, izvedeni na 14.916 moških, ugotavljali, ali TMK povzročajo raka prostate; po 13-letnem sledenju se je rak razvil pri 476 sodelujočih. Dokazali so, da z višjo vsebnostjo TMK v krvi tveganje narašča. Schuurman je v raziskavi (Schuurman in sod., 1999) na 58.279 moških ugotovil, da povezave med rakom prostate in uživanjem TMK ni.

Klinična raziskava (Charbonneau in sod., 2013), v kateri je sodelovalo 603 ljudi z ne-Hodgkinovim limfomom (NHL) in 1007 ljudi v kontrolni skupini, je pokazala, da so TMK močno povezane s tveganjem za NHL, predvsem s kronično limfocitno levkemijo, limfocitnim limfomom in difuznim limfomom B-celic. Uživanje nasičenih maščob in TMK je pozitivno povezano s tveganjem za nastanek NHL, medtem ko omega-3 maščobne kisline tveganje zmanjšujejo.

4.2 VSEBNOST TRANS MAŠČOBNIH KISLIN V ŽIVILIH

Leta 1992 so na različnih vzorcih olja naredili raziskavo (Wolff, 1992). Sojino olje je vsebovalo 0,26 do 0,82 g TMK na 100 g in repično 1,63 do 3,46 g. V kostariški raziskavi (Baylin in sod., 2007) so ugotovili, da je vsebnost TMK v sojinem olju zaradi delne hidrogenacije visoka, čeprav je med letoma 1994 in 2004, ko je bila raziskava opravljena, precej upadla. *Trans* izomera 18:1 in 18:2 sta med letoma 1995 in 1996 predstavljala 16 % in 24 % skupnih TMK, leta 2004 0,95 % in 1,99 %, kar dokazuje, da se je vsebnost TMK v desetih letih zmanjšala s približno 20 % na 1,5 %. Upad je posledica višje vsebnosti linolne in alfa-linolenske kisline; v raziskavi (Baylin in sod., 2003) so namreč dokazali, da alfa-linolenska kislina ščiti pred miokardnim infarktom. V mehiški raziskavi (Medina-Juárez in sod., 2000), izvedeni leta 1998, v kateri so vzorce olj rafinirali in deodorirali na 240 do 260 °C, so izmerili 0,9 do 2,93 % TMK. Na Kitajskem so med letoma 2010 in 2011 naredili raziskavo (Hou in sod., 2012), v kateri so v lokalnem supermarketu kupili 29 vzorcev sojinega, 23 repičnega, 22 sončničnega in 19 koruznega olja. Med 93 vzorci so vsebnost TMK, višjo od 2 % izmerili v 17 (18 %), in sicer v 4 vzorcih sojinega in sončničnega, 6 repičnega in 3 koruznega olja. Koncentracije TMK so znašale $1,15 \pm 0,12$; $1,37 \pm 0,23$; $1,41 \pm 0,1$ in $2,01 \pm 0,24$ g na 100 g. Martin in sodelavci (Martin in sod., 1998) so ugotovili, da je alfa-linolenska kislina v primerjavi z linolno kislino zaradi števila dvojnih vezi in visoke temperature, kateri so med deodoracijo izpostavljena olja, bolj občutljiva na izomerizacijo. Deodoracija prispeva k nastanku TMK, zato je pomembno njen postopek prilagoditi na način, da vsebnost TMK ne presega 1 % v repičnem in sojinem olju oziroma 0,5 % v sončničnem in koruznem olju (Kellens, 1997).

V TRANSFAIR raziskavi (Aro in sod., 1998), izvedeni med letoma 1995 in 1996, v kateri je sodelovalo 14 evropskih držav, so rezultati pokazali, da je delež TMK v maščobi za cvrtje na Finskem, Nizozemskem, v Nemčiji, Islandiji, Norveški, Portugalski in Španiji zelo visok, saj predstavlja 11,7 do 34,8 %; v Belgiji in Veliki Britaniji je nižji, predstavlja 4,5 do 7 % in v Grčiji in na Portugalskem nižji od 3 %. Visok delež TMK (do 41,5 %) vsebujejo tudi doma pripravljene izdelki, kar nakazuje na to, da se za cvrtje uporabljajo

različne vrste maščob. V vseh državah je delež TMK v hitri in doma pripravljene hrani višji od 10 %. Visoko vsebnost TMK so dokazali tudi v jušnih koncentratih, instant juhah v praških ali kockah, 6,6 do 41,3 %; v kosmičih z visoko vsebnostjo maščobe na Finskem in Švedski med 18,9 in 23,7 %; globoko zamrznjenih mesnih kroketih na Nizozemskem in v Španiji med 20 in 25 % *trans* izomerov glede na skupne maščobne kisline na Portugalskem v ocvrtem osliču v verigah hitre prehrane kar 37 %.

V raziskavi (Stender in sod., 2012) so v 16 evropskih državah leta 2005 in 2009 analizirali vsebnost industrijsko proizvedenih TMK v pogosto uporabljenih živilih. Uporabili so 70 porcij ocvrtega krompirja in piščančjih medaljonov, 90 porcij pokovke za uporabo v mikrovalovni pečici in 442 vzorcev piškotov, tort, vafeljev in drugih slaščic, izdelanih iz delno hidrogeniranih rastlinskih olj. Rezultati so pokazali, da so leta 2005 Madžarska, Poljska in Češka imele najvišjo vsebnost industrijsko proizvedenih TMK, 10 do 15 g na 100 g porcije slaščic, Francija, Nemčija in Velika Britanija 2 g na 100 g. Leta 2009 je bila vsebnost v menijih hitre hrane v Franciji, Nemčiji in Veliki Britaniji, izmerjena na istih lokacijah kot leta 2005 manj kot 1 g na porcijo. Leta 2005 je vsebnost TMK v češki pokovki znašala 11,6 g na 100 g, leta 2009 jih ni več vsebovala. Enak izdelek je na Madžarskem leta 2009 še vedno vseboval 7,6 g na 100 g. Leta 2001 je bila povprečna vsebnost industrijsko proizvedenih TMK v meniju z visoko vsebnostjo TMK, kamor spada velika porcija ocvrtega krompirja in piščančjih medaljovonov, 100 g pokovke in 100 g slaščic, 37 g na Danskem, leta 2005 manj kot 1 g. Leta 2005 je v 13 od 16 evropskih držav vsebnost še vedno dosegala 20 g. Najvišje vrednosti so izmerili na Madžarskem, Češkem in Poljskem, približno 40 g na meni. Te ugotovitve dokazujejo, da v Evropi še vedno milijoni ljudi uživajo TMK v takšnih količinah, ki nevarno povečujejo tveganje za nastanek koronarne srčne bolezni.

Glede na svetovno potrošnjo TMK so se portugalski raziskovalci (Teixeira Santos in sod., 2015) septembra 2012 odločili preveriti njihovo vsebnost v 50 izdelkih, piškotih in biskvitih, prodajanih v lokalnih supermarketih. Te so razdelili v 5 kategorij: polnjeni, vafli, masleni, rahli in enostavni. Vzorce so homogenizirali, zmleli in do analize hranili v temnem prostoru pri 4 °C. Najvišjo vsebnost TMK so imeli vafli. Čeprav Portugalska nima specifičnega zakona, ki bi omejeval količino TMK v živilih, je ta v piškotih in biskvitih nizka (manj kot 0,1 g na 100 g); povprečna vsebnost v 49 od 50 izdelkih je 0,6 %; kljub temu je bila ta v enem izdelku kar 27 %, kar nakazuje na to, da je problem še vedno prisoten. Vsebnost TMK v živilih je sicer v zadnjih letih kot posledica reformulacije živil precej upadla. Vsebnost TMK v pekovskih izdelkih so preučevali tudi španski raziskovalci (Ansorena in sod., 2013); ta je znašala $0,68 \pm 0,15$ g na 100 g maščobnih kislin in $0,19 \pm 0,04$ g na 100 g izdelka. Ti podatki kažejo, da se je vsebnost glede na prejšnje raziskave precej zmanjšala.

Podobno raziskavo so kot odgovor na reformulacijo živil za zniževanje industrijsko proizvedenih TMK izvedli tudi britanski strokovnjaki (Roe in sod., 2013). Uporabili so 62 vzorcev in jih analizirali glede na vsebnost maščobnih kislin. V primerjavi s prejšnjimi raziskavami so opazili, da se je vsebnost TMK zmanjšala. Koncentracija *trans* elagične kisline je bila nižja od 0,2 g na 100 g izdelka. V Švici so naredili raziskavo (Richter in sod., 2009), v kateri so vsebnost TMK preverili v 119 prehranskih izdelkih različnih kategorij.

Vse izdelke so hranili, kot je predpisano na deklaraciji (npr. zmrznjeni izdelki so ostali zmrznjeni do analize), in jih analizirali pred iztekom roka uporabnosti. TMK so vsebovali vsi izdelki, razen dveh sladoledov. 45 izdelkov je vsebovalo več kot 2 % TMK glede na skupno maščobo, v 8 izdelkih je vsebnost presegala 20 %. Povprečna vsebnost TMK v različnih skupinah izdelkov je bila od 0,35% v žitih za zajtrk do 6,07 % v finih pekovskih izdelkih, v petih margarinah med 0,3 in 2,0 %. Najvišjo vsebnost so izmerili v hidrogeniranem repičnem olju, kar 29,3 %. Fini pekovski izdelki povprečno vsebujejo 6,07 % TMK (0,32 do 16,97 g na 100 g maščobnih kislin), kar pomeni približno 1,20 g na 100 g živila. Vsebnost TMK v piškotih so preverjali tudi v Srbiji; v eksperimentalni raziskavi (Kravić in sod., 2011), v kateri so med letoma 2007 in 2009 na 34 izdelkih ocenjevali kvaliteto maščob, so ugotovili, da je vsebnost TMK od 0 do 42,5 %, povprečno 10,2 %, v 12 izdelkih 12 do 42,5 %, 10 jih TMK ni vsebovalo, v osmih je bila vsebnost nižja od 2 %, v štirih je bila med 2 in 10 %. Ugotovili so, da je vsebnost TMK upadla, vendar se je posledično povežala količina nasičenih maščob.

Leta 2007 je Center for Science in the Public Interest v ZDA obiskal večje supermarkete, da bi identificiral izdelke, ki vsebujejo TMK. Raziskava je vključevala markete, vključno s Safeway v Washingtonu, DC, Giant Foods v Washingtonu, DC in Walmart v Marylandu. V vsakem izmed njih je panel za prehrano v 16 kategorijah prehranskih izdelkov (kruh; zajtrki; torte in fino pecivo; piškoti, biskviti; krekerji; krofi; ocvrt in drugi krompir; sladoledi; margarine in masla, meso in morska hrana; mafini; testenine; pite; pice; pokovka) ocenil, ali je vsebnost TMK višja od 0,5 g na porcijo. Vsi izdelki, ki so leta 2007 vsebovali več TMK, so bili ponovno ocenjeni v letih 2008, 2010 in 2011. V vsakem letu ocenjevanja je bila vsebnost TMK ponovno ocenjena in zapisana. Leta 2011 je 178 izdelkov (66 %) zmanjšalo vsebnost TMK, povprečno za 1,5 g na porcijo. Med vsemi ocenjenimi prehranskimi izdelki se je vsebnost TMK med leti 2007 in 2011 najbolj zmanjšala v ocvrtem krompirju (88 %), krofi (81 %) in sladoledih (73 %). Najmanjše zmanjšanje vsebnosti so opazili v margarinah in pokovki (19 %). Vsebnosti TMK se je v 270 izdelkih spreminjale glede na proizvajalca. Izdelki so predstavljali 48 »starševskih« združb, večino od tega General Mills, Kellogg in H. J. Heinz. Med ostalimi proizvajalci so vsebnost TMK najbolj znižali Cole's Quality Foods (100 %), Schwan Food Company (90 %) in Tasty Baking Company (87 %), najmanj American Pies (3 %), Giant Foods (12 %) in ConAgra Foods (13 %). Količina TMK je najbolj upadla v izdelkih Schwan Food Company (2,6 g na porcijo) in Tasty Baking Company (2,5 g na porcijo), s povprečno vsebnostjo TMK 0,3 in 0,2 g na porcijo. V vseh preiskovanih letih so izdelki American Pies povprečno vsebovali največ TMK (4 g na porcijo), z majhnim zmanjšanjem med letoma 2007 in 2011. Izdelki Pinnacle Foods in Giant so vsebovali več kot 2 g TMK na porcijo, z majhno spremembo leta 2011. Kot kažejo izsledki raziskave, je bila vsebnost TMK do leta 2011 zmanjšana v 66 % izdelkov. Med vsemi temi izdelki je 82 % takšnih, ki so TMK znižali na manj kot 0,5 g na porcijo, v polovici teh so bile TMK popolnoma ukinjene. Med vsemi izdelki se je vsebnost teh maščob znižala za približno 1 g na porcijo, kar predstavlja povprečno zmanjšanje za 49 %. Te ugotovitve nakazujejo, da so nekateri proizvajalci hrane, podprti s strani proizvajalcev olj, razvijalcev semen in kmetov, naredili velik korak pri zamenjavi delno hidrogeniranih rastlinskih olj z alternativnimi olji (Otite in sod., 2013). Zdravstvene koristi odstranitve industrijsko proizvedenih TMK iz delno hidrogeniranih olj so lahko velike. Ocenjujejo, da lahko zmanjšanje vnosa industrijskih TMK za 4,5 g na dan

v Mehiki, Centralni in Južni Ameriki prepreči 30.000 do 130.000 in zmanjšanje za 9 g na dan 62.000 do 225.000 smrti zaradi koronarne srčne bolezni letno. Upoštevajoč znanstvene dokaze o škodljivih učinkih TMK sta panameriška zdravstvena organizacija (PAHO) oziroma SZO prevzeli glavno vlogo pri zmanjšanju vnosa TMK in izboljšanju prehrane ter promociji zdravega življenjskega sloga Američanov (Pan American Health Organization, 2008; Monge–Rojas in sod., 2011). Maja 2007 sta organizaciji s ciljem odstraniti TMK iz prehrane predlagali ukrep brez *trans* maščob. Septembra istega leta so organizirali srečanje z vodilnimi prehranskimi konglomerati, da bi dosegli prostovoljno odstranitev TMK iz izdelkov (Monge–Rojas in sod., 2011). Junija 2008 so delegati največjih prehranskih združb in industrije (Pan American Health Organization, 2008) (Brazilsko združenje prehranske industrije, korporacije Burger King, Cargill, ABIA, Kraft Foods Company, Kellogg Company, McDonald's, Nestle in PepsiCo) z namenom doseči cilj brez *trans* maščob v Riu de Janeiru podpisali deklaracijo. PepsiCo je količino TMK v piškotih zmanjšal iz 15 do 30 g na 0 do 0,03 g na 100 g skupne maščobe v Mehiki in Karibskem otočju, količina teh maščob v piškotih v severni Ameriki je kljub temu ostala visoka – 11 do 28 g TMK na 100 g. V Braziliji so količino TMK v pripravljenih izdelkih zmanjšali z 1,1 do 5,9 g na 0,2 do 0,6 g na porcijo. Burger King od leta 2008 v vseh restavracijah v Ameriki in Karibskem otočju uporablja olja z nič g TMK. Kot zapisano v poročilu, so zdaj vsi izdelki v njihovih obrokih brez TMK. PepsiCo, ABIA, korporaciji Nestle in Cargill so opisali tri ključne izzive na področju uresničevanja zmanjševanja oziroma odstranitve TMK in njihove zamenjave z zdravimi olji v Latinski Ameriki in Karibskem otočju. Ti so vključevali identifikacijo in sposobnost zamenjave TMK s primernejšimi olji oziroma maščobami ter stroške tovrstne zamenjave (Monge–Rojas in sod., 2011).

Povprečna vsebnost TMK v živilih v Evropi je znotraj s strani SZO priporočene najvišje vrednosti 1 % skupnega energijskega vnosa. Kljub temu je še vedno nekaj evropskih držav, v katerih je vsebnost TMK visoka, kar nakazuje na potrebo po sistematiziranem in standardiziranem zbiranju podatkov. Še vedno je veliko izdelkov, ki vsebujejo preveč TMK in posameznikov, ki vsaj občasno zaužijejo preveliko količino teh maščob (Codex Alimentarius, 2013). Povišanje vnosa TMK za 5 g na dan tveganje za nastanek SŽO poveča za 25 %, 20 g na dan 2,5-krat; tveganje za nastanek bolezni v primerjavi z nasičenimi maščobami je 4- do 5-krat višje (Ministry of food, agriculture and fisheries, n.d.).

4.2.1 Ukrepi za odstranitev *trans* maščobnih kislin iz živil in možnosti njihove zamenjave z alternativnimi maščobami

Dokazi o vplivih TMK na zdravje oziroma nastanek bolezni podpirajo potrebo po odstranitvi delno hidrogeniranih olj iz prehrane ljudi (Uauy in sod., 2009). Ukrepi za odstranitev TMK iz prehrane zahtevajo sodelovanje s prehransko industrijo. TMK naj zamenjajo maščobe, ki jih ne vsebujejo ali olja z visoko vsebnostjo *cis* nenasičenih maščobnih kislin in nizko vsebnostjo nasičenih maščob (Skeaff, 2009). Pri zamenjavi TMK z alternativnimi maščobami se je treba zavedati, da so nasičene maščobe prav tako povezane s SŽO (Codex Alimentarius, 2013). Nemško združenje za prehrano (Referenčne vrednosti za vnos hranil, 2004) zato priporoča, da maščobe predstavljajo maksimalno 30 % dnevnega energijskega vnosa, pri čemer nasičene maščobe naj ne presegajo 7 % in *trans* maščobe 1 %. Prehranska industrija, da zagotovi zdravju ugoden produkt, mora upoštevati

vsebnost TMK, kakor tudi celotno vsebnost maščob. Zmanjševanje vsebnosti TMK naj spremlja monitoring njihovega vnosa ter ostalih maščobnih kislin, ki se uporabijo kot njihova zamenjava.

Odstranitev industrijsko proizvedenih TMK zahteva zamenjavo delno hidrogeniranih rastlinskih olj z alternativnimi maščobami. Primernejša kot olja z visoko vsebnostjo nasičenih maščob so rastlinska olja, bogata s *cis* nenasičenimi maščobnimi kislinami. V kolikor delno hidrogenirana rastlinska olja vsebujejo zelo velike količine TMK, se zdravstveno tveganje zmanjša že ob zamenjavi z nasičenimi maščobami. TMK je najenostavneje zamenjati s tropskimi olji, npr. palmovim ali kokosovim. Zaloge teh olj po svetu so velike, cena je nizka, prehranska industrija jih že dlje časa uporablja, njihove fizikalne in senzorične lastnosti ugodno vplivajo na živila. Z vidika zdravstvenih koristi je zamenjava TMK z rastlinskimi olji z visoko vsebnostjo enkrat ali večkrat nenasičenih maščobnih kislin prednostna. Zamenjava delno hidrogeniranega olja z 20 % TMK z maslom zmanjša tveganje za nastanek SŽO za približno 10 % in zamenjava olja s 35 ali 45 % TMK z maslom, mastjo, palmovim ali drugimi rastlinskimi olji za 12 do 20 %, pri čemer so rastlinska olja koristnejša od živalskih maščob (Uauy in sod., 2009). Nasičene maščobe povečujejo skupni holesterol in LDL, medtem ko enkrat in večkrat nenasičene maščobne kisline koncentracijo LDL znižujejo. Te povišujejo koncentracijo HDL in ugodno razmerje HDL/LDL (Stulnig, 2010).

V industrijskih in razvitih državah je ogromno prizadevanj za zmanjšanje ali odstranitev TMK iz prehrane, kar se odraža v številnih javno zdravstvenih iniciativah, ki jih sprejmejo vladne agencije in javno zdravstvene organizacije, v nekaterih primerih v sodelovanju s prehransko industrijo. Primeri tovrstnih iniciativ vključujejo države, kot so Danska, Kanada, ZDA (New York City), Argentina in Indija (Uauy in sod., 2009); te imajo prehranska priporočila o vsebnosti TMK in izbiri zdravih maščob, ljudi obveščajo o škodljivih učinkih TMK, prostovoljno (ali v kolikor je zakonsko določeno) označujejo njihovo vsebnost v živilih, z namenom zmanjšanja vsebnosti spodbujajo prehransko industrijo k reformulaciji živil ter spodbujajo zdravstveno in kmetijsko politiko k oblikovanju zdravih alternativ ter zakonskih regulacij živilskih standardov za zmanjšanje oziroma odstranitev TMK (L'Abbe in sod., 2009). Prvi korak pri zamenjavi predstavlja zakonsko določeno označevanje vsebnosti TMK v predpakiranih živilih. Kanada je prva država, ki je zahtevala, da se vsebnost TMK v živilu vključi v deklaracijo; ukrep je bil sprejet decembra 2005 (L'Abbe in sod., 2009).

Pri osredotočanju na vsebnost TMK v živilih lahko potrošniki spregledajo vsebnost nasičenih maščob, zato je njuna vsebnost, izražena v g na porcijo, zapisana v ločenih vrstah. Živila, ki so označena kot brez TMK (*trans-free*), ne smejo vsebovati več kot 0,2 g, imeti pa morajo tudi nizko vsebnost nasičenih maščob, skupno manj kot 2 g na porcijo. V ZDA vrednost ne sme presegati 0,5 g (L'Abbe in sod., 2009). Natančno označevanje TMK na deklaraciji prehranskih izdelkov zahtevajo tudi države Južne Amerike, kot so Brazilija, Argentina, Paragvaj in Urugvaj. Živila, katerih vsebnost TMK na porcijo presega 0,2 %, morajo vsebovati opozorilo; tista, označena kot brez TMK, ne smejo vsebovati več kot 0,2 % TMK in 2 g nasičenih maščob na porcijo. Kitajska zahteva označevanje TMK na živilih le v nekaterih primerih – označevanje je obvezno, kadar živilo vsebuje hidrogenirana ali

delno hidrogenirana olja oziroma vsebuje izomere *trans* C18. Živila, označena kot brez TMK, ne smejo vsebovati več kot 0,3 g na 100 g. Živila na Kitajskem že imajo nizko vsebnost TMK, vendar je kljub temu potrebno nadaljnje zmanjševanje; večinoma se zgodi z zamenjavo TMK s palmovim oljem. Tudi na Japonskem je možno najti živila brez TMK, njihova vsebnost ne sme presegati 0,2 g na 100 g oziroma ml. Do leta 2010 je uporaba hidrogenacije upadla, saj je industrija začela uporabljati postopek inesterifikacije. V Avstraliji in Novi Zelandiji so zmanjšanje vsebnosti TMK v živilih dosegli potem, ko so objavili, da jih izdelek Krispy Kreme vsebuje več kot 29 %; to so dosegli z reformulacijo s sončničnim, palmovim oljem ali oljem oljne ogrščice. Malezija oziroma njihovo Ministrstvo za zdravje razvršča živila s TMK v dve kategoriji glede na njihovo vsebnost, in sicer tiste z nizko vsebnostjo z manj kot 1,5 g na 100 g trdnih izdelkov, 0,75 g na 100 g tekočin in brez z manj kot 0,1 g na 100 g. Večina izdelkov, prodajanih v Maleziji, ima nizko vsebnost TMK, precej se uporablja palmovo olje (List, 2014).

Vnos TMK iz delno hidrogeniranih rastlinskih olj v Iranu je zelo visok, približno dvakrat višji kot v ZDA in precej višji kot v številnih evropskih državah, kar prispeva k visokemu deležu koronarne srčne bolezni; kot posledica uživanja TMK nastopi do 39 % primerov koronarne srčne bolezni, kar pomeni približno 70.000 smrti letno (Unicef, 2005). Ob upoštevanju škodljivega vpliva TMK na zdravje ocenjujejo, da lahko odstranitev TMK iz delno hidrogeniranih rastlinskih olj v Iranu letno prepreči med 5600 (8 %) in 27.300 (39 %) smrti zaradi koronarne srčne bolezni. Ta ocena ne vključuje drugih dogodkov, katerih število bi upadlo z zmanjšanjem količine TMK, npr. miokardnega infarkta, akutnega koronarnega sindroma in koronarne revaskularizacije, kakor tudi možnih koristnih učinkov zamenjave TMK z rastlinskimi olji, ki vsebujejo omega-3 nenasičene maščobne kisline.

TMK so z drugimi maščobami zamenjali v verigi hitre hrane McDonald's. Pred omejitvijo je delež enkrat nenasičenih maščobnih kislin znašal 55 %, večkrat nenasičenih maščobnih kislin 8 %, nasičenih maščob 20 % in TMK 8 %. Po omejitvi so deleži po vrstnem redu znašali 75 %, 15 %, 15 % in 0 % (Ministry of Food, Agriculture and Fisheries, n.d.).

4.2.2 Industrijske strategije za zmanjšanje *trans* maščobnih kislin v živilih

Na tvorbo TMK med hidrogenacijo vplivajo reakcijski parametri, npr. koncentracija katalizatorja, tlak vodika, temperatura in agitacija. Največ TMK nastane pri tlaku vodika 100 do 200 kilopaskalov (kPa), visoki temperaturi med 200 in 215 °C in pri 0,005 % koncentraciji niklja na olje, medtem ko jih najmanj nastane pri visokem tlaku 300 kPa, nižji temperaturi med 165 in 180 °C in nekoliko višji koncentraciji katalizatorja, približno 0,008 % (Ackman in Tag, 1998). Raziskava (Karabulut in sod., 2003) je bila v reaktorju izvedena pri naslednjih pogojih: temperaturi 220 °C, času 100 minut, tlaku vodika 2,5 atmosferi in 0,18 % nikljevem katalizatorjem; vsebnost TMK v nenasičenih maščobnih kislinah med reakcijo je narasla do 56,76 %, kar dokazuje, da ima nikljev katalizator velik vpliv na tvorbo TMK, na podlagi *cis/trans* konverzije so določili, da je nastalo 2/3 *trans* in 1/3 *cis* izomerov. Obstajajo tehnološki postopki, s katerimi se lahko zmanjša njihova vsebnost v živilih (Hayes in Pronczuk, 2010; Menaa 2010):

1. Reformulacija živil – zamenjava TMK z drugimi maščobnimi kislinami

Reformulacija živil predstavlja alternativno strategijo delni hidrogenaciji rastlinskih olj, v kolikor se nivo TMK in nasičenih maščob zmanjša na minimum. Analize so namreč pokazale, da izbrani izdelki, ki ne vsebujejo TMK, vsebujejo velike količine nasičenih maščob, ki povečujejo tveganje za nastanek SŽO (Stender in sod., 2009). Za doseganje najvišje ravni zdravstvenih koristi se lahko TMK in nasičene maščobe zamenja s povečanjem *cis* nenasičenih maščobnih kislin (Mozaffarian in sod., 2010). Oleinska kislina, enkrat nenasičena maščobna kislina, ki se pogosto uporablja pri izdelavi živil, predstavlja ustrezno alternativo nasičenim maščobam in večkrat nenasičenim maščobnim kislinam, saj ima ugodne fizikalno-kemične lastnosti, npr. relativno visoko stabilnost med shranjevanjem in cvrtjem, kar pomeni, da je stabilna pred procesi oksidacije, hidrolize in polimerizacije; ugodno vpliva na zdravje (Eckel in sod., 2007), saj z zmožnostjo nižanja LDL preprečuje tveganje za nastanek ateroskleroze (Parthasarathy in sod., 1990; Warner in sod., 2001). Olja, zaradi stabilnosti primerna za cvrtje, bi morala imeti višjo vsebnost oleinske kisline (približno 50 do 65 %) in nižjo enkrat nenasičenih maščobnih kislin (približno 20 do 30 % linolne kisline in 3 % ali manj linolenske kisline (Eckel in sod., 2007).

2. Frakcionacija tropskih olj

Frakcionacija palmovega olja oziroma jedra omogoča aplikacijo živil brez TMK, primerno za cvrtje, izdelavo margarin in maščob za pripravo slaščic. Tropska olja nudijo dobre možnosti frakcionacije in se dobro obnesejo kot aplikacije, vendar vsebujejo visok delež nasičenih maščob, približno 50 do 90 %. Postopek, izveden na palmovem olju, omogoča nastanek nenasičenega oleina in nasičene frakcije stearina, ki sta funkcionalni pri izdelavi živil, ter vključitev tekočih maščob, kar zmanjša vsebnost nasičenih maščob. Palmovo olje je primerno za izdelavo margarin in maščob za pečenje, izdelanih s kombinacijo frakcionacije in interesterifikacije (List, 2014).

3. Modifikacija lastnosti olj (sojinega, sončničnega, olja oljne ogrščice)

Po definiciji modifikacija vključuje spremembo sestave maščobnih kislin z gojenjem rastlin, biotehnologijo, gensko insercijo ali kombinacijo obojega. Komercialno dostopna so sojina olje z nizko vsebnostjo linolenske, srednjo linolne in visoke oleinske kisline; olje oljne ogrščice z nizko vsebnostjo linolenske in visoko vsebnostjo linolne kisline ter sončnično olje s srednjo in visoko vsebnostjo oleinske kisline. Značilnost vseh je, da imajo malo večkrat in veliko enkrat nenasičenih maščobnih kislin. Takšna olja ne nudijo zgolj zamenjave za TMK, temveč so tudi bolj stabilna na oksidacijo. Za prehransko industrijo so zaradi visokih stroškov nepriljubljena, vendar je obvezno označevanje TMK na deklaraciji živil precej vplivalo nanjo; leta 2005 so takšna olja v ZDA pokrivala 12 % potreb, leta 2014 20 %, pričakovana je še povečana rast. Nekatera sojina olja s spremenjenimi lastnostmi bodo obogatili tudi z omega-3 maščobnimi kislinami, kar bo ugodno vplivalo na zdravje ljudi (List, 2014).

4. Kemična ali encimatska interesterifikacija – modifikacija sestave maščobnih kislin

Interesterifikacija kot proces, pri katerem na dvojnih vezeh ne poteka izomerizacija ali sprememba nenasičenosti, predstavlja alternativo hidrogenaciji. Strukturne maščobe so maščobe, običajno di- in trigliceridi ter glicerofosfolipidi, ki s procesom strukturne modifikacije njihove naravne oblike spremenijo pozicijo maščobnih kislin ali njihov profil oziroma med kemičnim ali encimatskim procesom oblikujejo nove trigliceride (Akoh in Kim, 2008). Kemična interesterifikacija pomembno spremeni njihovo sestavo, kar vpliva na njihovo tališče, vsebnost trdnih maščob in konsistenčne lastnosti (Ribeiro in sod., 2009). Encimatska modifikacija spremeni fizikalne in kemijske lastnosti maščob, pri čemer TMK ne nastajajo (Upritchard in sod., 2005). Obstajajo raziskave, v katerih je bila interesterifikacija uporabljena kot proces pri izdelavi margarine brez TMK (Lumor in sod., 2007; Kim in sod., 2008; Adhikari in sod., 2010a, 2010b). Namen raziskave (Pande in sod., 2012) je bil izdelati margarino brez TMK in jo primerjati s komercialnimi. Margarina, ki so jo izdelali, vsebuje nizko razmerje omega-6:omega-3 in je enostavno mazljiva. Visok vnos TMK je povezan z nekaterimi KNB in omega-3 maščobne kisline s preventivo SŽO, zato lahko predstavlja alternativo komercialnim margarinam (Pande in sod., 2012). Interesterifikacija ne vpliva na kvaliteto maščobnih kislin, ugodno vpliva na njihovo tališče in upočasni kemični razkroj, zaradi česar ustvarja olja, primernejša za cvrtje oziroma mazljive izdelke (Özay in sod., 1998; Sato, 2001; Eckel in sod., 2007; Soares in sod., 2012). Sojino olje z visoko vsebnostjo stearatov oziroma stearinske kisline (približno 17 %) poveča stabilnost živil, ki zahtevajo funkcionalnost trdnih maščob. Visoka vsebnost omogoča izdelavo margarin z izboljšano teksturo in brez TMK. Stearinska kislina ima v primerjavi z nasičenimi maščobami nevtralne učinke na nivo serumskega holesterola (Karupiah in Sundram, 2007). Druge možnosti zamenjave TMK vključujejo (List, 2014) mešanje tekočih in trdnih komponent, uporabo surfaktantov in emulgatorjev v oljih ter organogelov in strukturnih emulzij.

Zdrave alternative s strani Canadian *Trans* Task Force so priporočene za zamenjavo TMK glede na vrsto aplikacije, njihove značilnosti in učinke na zdravje (Trans Fat Task Force, 2006):

1. Olja za cvrtje – srednje in visoko stabilna rastlinska olja

- Olje oljne ogrščice z visoko vsebnostjo oleinske kisline vsebuje veliko enkrat nenasičenih maščobnih kislin in izboljša profil maščobnih kislin, vključno z razmerjem omega-6:omega-3.
- Sončnično olje z visoko vsebnostjo oleinske kisline vsebuje malo omega-3 in omega-6 maščobnih kislin, malo nasičenih maščob, je bolj oksidativno stabilno kot ostala rastlinska olja in zmanjša tveganje za nastanek SŽO.
- Sončnično olje s srednjo vsebnostjo oleinske kisline vsebuje večkrat nenasičene maščobne kisline, malo nasičenih maščob, je bolj oksidativno stabilno kot ostala rastlinska olja in zmanjša tveganje za nastanek SŽO.
- Sojino olje z nizko vsebnostjo linolenske kisline vsebuje veliko enkrat nenasičenih maščobnih kislin omega-6, kar povzroči povišanje razmerja omega-6:omega-3;

2. Mehke margarine – inesterificirana olja z rastlinskimi olji

- Stearini palmovega olja in olja palmovih jeder z oljem oljne ogrščice vsebujejo veliko enkrat nenasičenih maščobnih kislin, omega-3, malo nasičenih maščob in imajo srednjo vsebnost omega-6 maščobnih kislin, izboljšajo profil maščobnih kislin, vključno z razmerjem omega-6:omega-3 in zmanjšajo tveganje za nastanek SŽO.
- Stearini palmovega olja in olja palmovih jeder s sojinim oljem vsebujejo veliko omega-6 maščobnih kislin, malo enkrat nenasičenih maščobnih kislin, omega-3 in nasičenih maščob, njihov vpliv na profil maščobnih kislin v primerjavi z maslom in trdimi margarini, ki vsebujejo veliko nasičenih maščob, je boljši, lahko tudi znižajo razmerje LDL:HDL.

3. Trde margarine – interesterificirana olja z rastlinskimi olji

- Stearini palmovega olja in olja palmovih jeder s sojinim oljem v primerjavi z maslom, ki vsebuje veliko dolgoveržnih nasičenih maščobnih kislin, izboljšajo profil maščobnih kislin.

4. Trde maščobe za pečenje

- Interesterificirana olja z rastlinskimi olji, npr. stearini palmovega olja in olja palmovih jeder z oljem oljne ogrščice, bogatim z enkrat nenasičenimi maščobnimi kislinami, omega-3 in malo nasičenimi maščobami izboljšajo profil maščobnih kislin, vključno z razmerjem omega-6:omega-3 in znižujejo holesterol.
- Palmovo olje ali palmovi stearini s srednje stabilnimi rastlinskimi olji, ki vsebujejo veliko enkrat nenasičenih maščobnih kislin, omega-3, malo nasičenih maščob in imajo srednjo vsebnost omega-6 maščobnih kislin, izboljšajo profil maščobnih kislin, vključno z razmerjem omega-6:omega-3 in znižujejo holesterol.

5. Tekoče maščobe za pečenje

- Rastlinska olja, npr. olje oljne ogrščice ali sojino olje, z visoko vsebnostjo enkrat nenasičenih maščobnih kislin, omega-6 in omega-3 in malo nasičenimi maščobami izboljšajo profil maščobnih kislin, vključno z razmerjem omega-6:omega-3, znižujejo holesterol in zmanjšajo tveganje za nastanek SŽO.
- Srednje in visoko stabilna rastlinska olja, npr. olje oljne ogrščice z visoko vsebnostjo oleinske kisline izboljša profil maščobnih kislin, vključno z razmerjem omega-6:omega-3; sončnično olje z visoko vsebnostjo oleinske kisline zmanjša tveganje za nastanek SŽO; sojino olje z nizko vsebnostjo linolenske kisline poviša razmerje omega-6:omega-3 maščobnih kislin; sončnično olje s srednjo vsebnostjo oleinske kisline zmanjša tveganje za nastanek SŽO.

4.2.3 Zakonodaja o vsebnosti *trans* maščobnih kislin v živilih

Vse več je dokazov, da industrijsko proizvedene TMK povečujejo tveganje za nastanek SŽO (Codex Alimentarius, 2013), ki v industrializiranih državah predstavljajo glavni vzrok smrti; ocenjuje se, da se lahko z zakoni, ki urejajo oziroma predpisujejo najvišji dovoljen vnos TMK v splošni populaciji letno prepreči od 600 do 1800 srčnih napadov, 250 do 500 smrti, posamezniku omogoči do 13 let več življenja in zmanjša stroške za približno 26 milijonov dolarjev (Leth in sod., 2006). Kot odgovor na to določene države dokazujejo, da je možno zmanjšati oziroma omejiti njihovo količino v živilih (Codex Alimentarius, 2013). Nekatere države EU so na tem področju že sprejele učinkovito zakonodajo, ki omejuje vsebnost TMK v živilih (Uauy in sod., 2009). V Evropi so to Avstrija, Danska, Islandija in Švica (Codex Alimentarius, 2013). Številne države EU in izven nje so sprejele različne ukrepe, s katerimi omejujejo TMK v prehrani prebivalcev (Nacionalni inštitu za javno zdravje, 2014).

Danska je prva država na svetu, ki je sprejela zakonodajo na področju industrijske uporabe TMK v živilih (Denmark's trans fat law, 2003). Prvi pogovori o TMK so se začeli potem, ko so Walter Willett in sodelavci leta 1993 objavili raziskavo (Willett in sod., 1993) o uživanju TMK in tveganjem za nastanek koronarne srčne bolezni. Po objavi zgodbe o ženski, ki je dnevno zaužila 4 ali več čajnih žličk margarine in je imela 50 % večje tveganje za nastanek koronarne srčne bolezni, so danski časopisi zaključili, da je maslo bolj zdravo od margarine. Naslednji dan je Danski prehranski koncil sklical nujen sestanek o tveganjih uživanja margarine, kar je prispevalo k temu, da je zgodba TMK še dolgo odmevala v lokalnih medijih, v naslednjem mesecu pa je sledil tudi 12 % porast prodaje masla. Danski prehranski koncil je z namenom izdelave znanstvenega poročila o škodljivih vplivih TMK na zdravje sestavil delovno skupino. Leta 1994 je bilo objavljeno prvo poročilo o TMK, ki je dokazalo škodljivost, hkrati pa ni bilo nobenega dokaza o koristih uživanja TMK na zdravje (L'Abbé in sod., 2009).

V danskem zakonu (Denmark's trans fat law, 2003) so TMK definirane kot vsota vseh izomerov maščobnih kislin z 14, 16, 18, 20 in 22 ogljikovimi atomi in eno ali več *trans* dvojno vezjo, med katere sodijo *trans* izomeri C14:1, C16:1, C18:1, C18:2, C18:3, C20:1, C20:2, C22:1, C22:2, samo večkrat nenasičene maščobne kisline z dvojno vezjo z metilenom. Zakon se nanaša na olja in maščobe, vključno z emulzijami z maščobno fazo, ki so industrijsko proizvedene in so namenjene za uporabo oziroma uživanje pri ljudeh, medtem ko se na živalske maščobe z naravno vsebnostjo TMK ne nanaša. Od 1. junija 2003 vsebnost TMK v oljih in maščobah glede na zakon ne sme presegati 2 g na 100 g in vsebnost v izdelkih prehranske industrije, restavracijah in pekarnah 5 g na 100 g. Izdelki, označeni kot brez TMK, ne smejo vsebovati več kot 1 g TMK na 100 g maščobe v končnem produktu. Zakon omejuje vsebnost TMK na dva odstotka v skupni maščobi, predpis pa se naša tako na domače kot tudi uvožene izdelke. Temelji na številnih prospektivnih populacijskih raziskavah, ki nakazujejo, da je vnos TMK v primerjavi z nasičenimi maščobnimi kislinami povezan s približno 10-krat večjim tveganjem za nastanek SŽO. Na Danskem je trend smrti zaradi ishemične srčne bolezni od leta 1980 upadel iz 261,2 smrti na 100.000 prebivalcev do leta 2006 na 67,8 (Stender in sod., 2012). Čeprav je Danska leta 2001 omejila vnos industrijsko proizvedenih TMK na 1 g na dan, je

še vedno možno zaužiti velike količine teh maščob v obroku; z uživanjem popularnih živil, kot so vafliji, pokovka in ocvrt krompir je v organizem možno vnesti 20 do 30 g TMK v enem obroku. Med 5 milijoni Dancev je 10 do 50 tisoč posameznikov, ki so takšne obroke uživali večkrat tedensko in dnevno zaužili več kot 5 g TMK. Generalizirano na populacijo Evropske Unije (EU) to pomeni 1 do 5 milijonov ljudi (Stender in sod., 2012). Danska je trenutno edina država, ki je z zakonodajno omejitvijo TMK v izdelkih uspela učinkovito zmanjšati njihov prehranski vnos na še sprejemljivo raven pri vseh skupinah prebivalcev in to brez večjih ekonomskih posledic za živilsko industrijo in ponudnike prehrane (Nacionalni inštitut za javno zdravje, 2014).

Tudi Avstrijci so z namenom omejitve vnosa industrijsko proizvedenih TMK in zaščite zdravja svojih prebivalce sprejeli zakon (Verordnung des Bundesministers für Gesundheit über den Gehalt an *trans*-Fettsäuren in Lebensmitteln, 2008), ki prepoveduje vsebnost TMK v živilih, višjo od 2 g na 100 g glede na skupno maščobo, kar velja tudi za prodajo potrošnikom. Prekoračitev mejne vrednosti je dovoljena le v primeru živil, izdelanih iz več sestavin, v kolikor delež skupne maščobe ne presega 20 % in TMK ne več kot 4 g na 100 g.

Za sprejetje zakonske omejitve TMK v živilih se zavzema tudi Madžarska; zakon, ko bo sprejet, bo določal, da vsebnost TMK ne sme presegati 2 g na 100 g skupnih maščob. V primeru živil z več sestavinami, bo vsebnost določena glede na delež skupnih maščob, 4 g na 100 g pri 20 %. Leta 2011 je na Madžarskem umrlo približno 130.000 ljudi, 25 % vseh smrti je bilo povzročenih zaradi koronarne srčne bolezni, zato predvidevajo, da lahko z zakonom, ki bi vnos industrijsko proizvedenih TMK zmanjšal na minimum, smrtnost zaradi bolezni zmanjšali za 6 do 19 %, kar pomeni, da bi rešili 2 do 6 tisoč življenj (Euro Food Law, 2013).

4.2.4 Stanje na področju *trans* maščobnih kislin v Sloveniji

Slovenija ima sprejeta le priporočila o še sprejemljivem vnosu TMK. Na Nacionalnem inštitutu za javno zdravje menijo, da bi z omejitvijo TMK v vseh prehrabnih izdelkih zmanjšali njihov vnos pri vseh skupinah prebivalstva, kar je zapisno tudi v ciljih predloga nove prehranske politike. Ker še ni povsem jasnih zaključkov po še sprejemljivem vnosu TMK, veliko priporočil svetuje njihovo uživanje po načelu tem manj, tem bolje. Tudi slovenska priporočila za različne populacijske skupine, ki temeljijo na Referenčnih vrednostih za vnos hranil in jih je leta 2004 prevzelo Ministrstvo za zdravje RS, omejujejo dnevni vnos TMK na največ en odstotek dnevno zaužite energije. To pomeni, da zdrav človek, ki dnevno zaužije 8373,6 kJ (2000 kcal), naj ne bi zaužil več kot dva g TMK na dan. Čeprav se danes postopek delnega hidrogeniranja maščob še vedno uporablja z namenom podaljševanja obstojnosti in izboljševanja teksture končnih izdelkov, že obstajajo izboljšane tehnologije (npr. interesterifikacija), s katerimi se vsebnost TMK v končnih izdelkih uspešno zmanjšuje ali celo nadomešča z zdravju bolj naklonjenimi nenasičenimi maščobami (Nacionalni inštitut za javno zdravje, 2014).

Prosti pretok varnih in kakovostnih živil je pomemben vidik notranjega trga in znatno prispeva k zdravju in dobremu počutju državljanov ter k njihovih socialnim in gospodarskim interesom. Za doseganje visoke ravni varovanja zdravja potrošnikov in

zagotovitev njihove pravice do obveščenosti bi bilo treba zagotoviti, da so potrošniki ustrezno obveščeni o živilih, ki jih uživajo. Pravila Unije o označevanju živil, ki se uporabljajo za vsa živila, so določena v Direktivi 2000/13/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 20. marca 2000 o približevanju zakonodaje držav članic o označevanju, predstavljanju in oglaševanju živil (Uredba evropskega Parlamenta in Sveta o zagotavljanju informacij o živilih potrošnikom, 2011).

V Sloveniji Pravilnik o splošnem označevanju predpakiranih živil (Ur. l. RS. št. 36/2014) (Pravilnik o označevanju predpakiranih živil, 2014) določa splošno označevanje predpakiranih živil, ki so v prometu namenjena za prodajo končnemu potrošniku in za oskrbo obratov javne prehrane v skladu z Direktivami. Predpakirano živilo pomeni vsako posamezno enoto, ki se kot taka predstavi končnemu potrošniku in obratom javne prehrane ter jo sestavlja živilo in embalaža, v katero je dano, preden se ponudi za prodajo, ne glede na to, ali takšna embalaža popolnoma ali samo delno zapira živilo, vendar v vsakem primeru na tak način, da vsebine ni možno spremeniti, ne da bi embalažo odprli ali spremenili; predpakirana živila ne zajemajo živil, pakiranih na prodajnih mestih na zahtevo potrošnika ali predpakiranih za neposredno prodajo. Označbe na živilu morajo biti v slovenskem jeziku, na opaznem mestu embalaže tako, da so zlahka vidne, razumljive, nedvoumne, jasno čitljive in neizbrisane ter ne smejo biti skrite, nejasne ali prekrite z drugim besednim ali slikovnim gradivom. Na seznamu sestavin morajo biti vključene in navedene vse sestavine živila po padajočem vrstnem redu glede na maso, ki je bila zabeležena v času njihove uporabe pri pripravi živila (t. i. faza mešalne posode). Seznam sestavin mora vključevati besedo sestavine (Pravilnik o označevanju predpakiranih živil, 2014). Sestavina pomeni vsako snov ali proizvod, vključno z aromami, aditivi za živila in encimi za živila ter vsako sestavino v sestavljenih sestavinah, ki se uporabljajo v proizvodnji ali pri pripravi živila in so še vedno prisotni v končnem proizvodu, tudi če so v spremenjeni obliki. Kadar zakonodaja o informacijah na živilih zahteva obvezne informacije o živilih, te zahtevajo zlasti informacije, ki spadajo v eno od naslednjih kategorij (Uredba evropskega Parlamenta in Sveta o zagotavljanju informacij o živilih potrošnikom, 2011):

- informacije o identiteti in sestavi, lastnostih ali drugih značilnostih živila;
- informacije o varovanju zdravja potrošnikov in varni uporabi živila. To so zlasti informacije o lastnostih sestavin, ki lahko škodijo zdravju nekaterih skupin potrošnikov; roku uporabnosti, shranjevanju in varni uporabi; vplivu na zdravje, vključno s tveganjem in posledicami v povezavi s škodljivim in nevarnim uživanjem živila;
- informacije o hranilni vrednosti, da se potrošnikom, tudi tistim s posebnimi prehranskimi potrebami, omogoči ozaveščena izbira.

Zaradi lažje primerjave med proizvodi v različnih velikostih embalaže je primerno, da je še naprej obvezno navajanje hranilne vrednosti na 100 g ali 100 ml, po potrebi pa so dovoljene dodatne navedbe na porcijo (Uredba evropskega Parlamenta in Sveta o zagotavljanju informacij o živilih potrošnikom, 2011). Sestavine se navaja in poimenuje glede na kategorijo sestavine; rafinirana olja rastlinskega izvora se po Določbi v zvezi z navedbo glede na maso lahko navedejo skupaj na seznamu sestavine kot rastlinska olja,

čemur sledi seznam navedb specifičnega rastlinskega izvora, za tem pa lahko stavek v spremenljivih deležih. Ustrezen izraz popolnoma hidrogenirano ali deloma hidrogenirano mora spremljati navedbo hidrogenirana olja (Ur. l. RS, 2005).

Pri Zvezi potrošnikov Slovenije (ZPS) se že od leta 2004 zavzemajo za zakonsko obvezno označevanje TMK kot tudi njihovo omejitve v živilih. Označevanje TMK na predpakiranih izdelkih v Sloveniji ni obvezno. Obveznega označevanja ne predpisuje niti nova Uredba o zagotavljanju informacij o živilih potrošnikom, ki velja za vse članice EU. Potrošniške organizacije si močno prizadevajo, da bi bilo označevanje TMK na izdelkih obvezno. Na ZPS menijo, da tako kot ima potrošnik pravico vedeti, koliko sladkorja in maščobe ter soli vsebuje živilo, ima pravico vedeti tudi, koliko TMK vsebuje (Zveza potrošnikov Slovenije, 2013). ZPS je izvedla test *Trans* maščobne kisline v izdelkih. Nakupili so 17 izdelkov in preverili, koliko skupne maščobe vsebujejo, pri 14 izdelkih pa tudi, koliko TMK. Vsebnost TMK so določili na Kemijskem inštitutu v Ljubljani. Glede na to, da Slovenija še nima urejene zakonodaje glede vsebnosti TMK v izdelkih, so ugotovitve o njihovi količini presojali upoštevajoč dansko, ameriško, kanadsko in francosko zakonodajo. Na nobenem pregledanem izdelku ni bila deklarirana vsebnost TMK. Če bi pri nas veljala kanadska ali ameriška zakonodaja, po kateri je označevanje vsebnosti TMK v izdelkih obvezno, ti izdelki ne bi smeli biti na prodajnih policah (Zveza potrošnikov Slovenije, 2007). Vsebnost TMK so presojali upoštevajoč dansko zakonodajo, ki določa, da v skupni maščobi ne sme biti več kot 2 % TMK. To mejo je preseglo 10 izdelkov od 14 analiziranih. Krekerji Vic (Kraš) vsebujejo v skupni maščobi kar 38,5 % TMK, zlate paličice lešnik (Žito) 24,8 %, čokoladna torta (Zmajčkov butik) 15,2 %, rastlinska mast za pečenje (Zvijezda) 8,7 %, kakavov kremni namaz z lešniki (Petlja) 8 %, mini masleni rogljički (Pečjak) 7,1 %, Rama Creme Bonjour s šunko (Droga Kolinska) 5,3 %, smetanovi piškoti Jurček (Mira Kolar, s. p.) 4,5 %, krompirjev čips maxi (Mercator) 2,6 % in margarinski namaz (Mercator) 2,1 % (Zveza potrošnikov Slovenije, 2007). Ugotovili so, da več kot 50 % izdelkov ni ustrezalo danski zakonodaji, ki omejuje njihov delež na največ dva odstotka v skupni maščobi (Nacionalni inštitut za javno zdravje, 2014).

TMK, proizvedene z delno hidrogenacijo, niso naravno prisotne v hrani in nimajo zdravstvenih koristi, zato sodijo med industrijske aditive; kot takim bi se morali izogibati pri uporabi v restavracijah, proizvajalci maščob za kuhanje in drugi (Uauy in sod., 2009). Eden izmed ciljev Strategije za izboljšanje ponudbe zdravju koristnih živil in zdrave prehrane je zmanjšanje ponudbe živilskih proizvodov, ki vsebujejo velik delež maščob, nasičenih maščob, TMK, velik delež soli, sladkorja in akrilamida (Ur. l. RS, 2005).

4.2.5 Zamenjava *trans* maščobnih kislin z esencialnimi maščobnimi kislinami

Zaradi vse večje razširjenosti KNB, med katerimi so SŽO najpogostejša, je SZO pred kratkim sprejela Globalno strategijo o spremljanju, preprečevanju in nadzoru kroničnih nenalezljivih bolezni, ki veliko pozornost posveča tudi spremljanju nacionalnih ukrepov, s katerimi bodo države zmanjševale delno hidrogenirane rastlinske maščobe v prehranskih izdelkih oziroma jih nadomestile z bolj ugodnimi večkrat nenasičenimi maščobnimi kislinami (Nacionalni inštitut za javno zdravje, 2014). TMK povečujejo tudi potrebo po esencialnih maščobnih kislinah, ker z njimi tekmujejo za iste encimske sisteme (Nacionalni

inštitut za javno zdravje, 2014). V kolikor bi se hidrogenirana rastlinska olja zamenjalo z večkrat nenasičenimi omega-3 in omega-6 ter enkrat nenasičenimi maščobnimi kislinami, bi se to odražalo v zdravstvenih koristih za ljudi (Uauy in sod., 2009).

Esencialne maščobne kisline omega-3 in omega-6 zmanjšujejo tveganje za SŽO. Obe skupini maščobnih kislin služita za tvorbo funkcionalno pomembnih strukturnih lipidov v tkivih in regulatorskih eikozanoidov (Stulnig, 2010). Maščobne kisline v prehrani vplivajo na tveganje ateroskleroze s spremembo koncentracije in sestave lipoproteinov v krvi, s spremembo sestave maščobnih kislin v membranah krvnih celic tudi na reološke lastnosti krvi. Preko tvorbe eikozanoidov iz omega-3 in omega-6 maščobnih kislin se usmerjajo pomembne funkcije, kot so agregacija trombocitov, adhezija monocitov na stene žil, razširjenje žil, krvni pritisk in drugi parametri krvnega obtoka. Sem nadalje sodijo vnetni procesi in imunske reakcije (Connor in Connor, 1997; Nestel in sod., 1997; Wolfram, 1997).

Navedene referenčne vrednosti za vnose linolne kisline (omega-6) in alfa-linolenske kisline (omega-3) so v razmerju 5:1 (Referenčne vrednosti za vnos hranil, 2004). Omega-3 maščobne kisline, predvsem dolgoveržne, ki se nahajajo v ribjem olju, kot primer EPA (C20:5) in DHA (C22:6), imajo anti-aritmičen in anti-trombotičen učinek. Drugi učinki omega-3 maščobnih kislin so še izboljšana, z NO spodbujena relaksacija žil, postprandilano nižanje serumskih trigliceridov, blago znižanje krvnega tlaka in proti vnetno delovanje. Ker zavirajo vnetje preprečujejo napredovanje ateroskleroze. Vplivajo tudi na izboljšanje endotelijske funkcije, znižujejo krvni tlak in v visokih koncentracijah (več kot 3 g na dan) znižujejo serumske trigliceride (Stulnig, 2010).

4.2.6 Dodatek sterolov, stanolov v margarine

Smernice obravnave povišanega LDL (Executive summary of the third report of the National Cholesterol Education Program, 2001) zraven zmanjšanja nasičenih maščob, prehranskega holesterola in vzdrževanja normalne telesne mase vključujejo dodatek topnih vlaknin in rastlinskih sterolov v prehrano; te spremembe lahko LDL znižajo za 25 do 35 % (Third report of the National Cholesterol Education Program, 2002; Kendall in Jenkins, 2004). Nasičene maščobe najmočneje vplivajo na povišanje LDL; omejitev vnosa holesterola na največ 200 mg na dan prispeva k 1 do 3 % znižanju; zmanjšanje telesne mase zmanjša tvorbo LDL, predhodnika VLDL; uživanje v vodi topnih vlaknin, npr. ovsenih otrobov, pektina v grenivki in psiliuma, v kolikor se prehrani doda 3 g vlaknin dnevno LDL zniža za 3 % (Denke, 2002).

Identificirali so preko 40 rastlinskih sterolov – fitosterolov, najpomembnejši so beta-sitosterol, kamposterol in stigmasterol; ti steroli so strukturno podobni holesterolu. Stanoli so nasičeni steroli, kar pomeni, da v sterolnem obroču nimajo dvojnih vezi (Law, 2000). Meta analize (Abumweis in sod., 2008; Musa-Veloso in sod., 2011) so dokazale, da 2 g rastlinskih sterolov na dan LDL znižata za približno 8 do 10 %, kar pomeni 0,31 do 0,34 mmol/l. Eksperimentalne raziskave (Law 2000; Kozłowska-Wojciechowska in sod., 2003) poročajo o koristnih učinkih sterol oziroma stanolov, dodanih margarini na nivo LDL, saj zmanjšujejo absorpcijo holesterola v črevesu in posledično njegovo serumsko

koncentracijo. V raziskavi (Kozłowska–Wojciechowska in sod., 2003), v kateri je sodelovalo 42 zdravih moških, ki so upoštevali nadzorovan prehranski režim, so razdelili v dve skupini. Po dnevnem uživanju 30 g masla so udeleženci v prvi skupini uživali margarino z večkrat nenasičenimi maščobnimi kislinami in drugi margarino z rastlinskimi steroli. Rezultati so pokazali, da je margarina z večkrat nenasičenimi maščobnimi kislinami LDL znižala za 6 %, HDL za 3 %; margarina z dodanimi steroli LDL za 11 %, brez vpliva na HDL; to podpira terapevtsko aplikacijo rastlinskih sterolov. Rastlinski steroli v dnevnem odmerku 1 g LDL znižajo za 6 do 8 %, v maksimalnem odmerku 2 do 2,5 g 9 do 14 %, uživanje 2 g sterolov oziroma stanolov na dan pomeni, da je potrebno zaužiti 25 g margarine dnevno (Law, 2000).

Pri uporabi rastlinskih sterolov in stanolov je potrebno upoštevati njihov vpliv na vitamine, topne v maščobi; randomizirane raziskave so namreč pokazale, da znižujejo krvne koncentracije alfa in beta karotena ter vitamina E (Weststrate in Meijer, 1998; Gylling in Mietinen, 1999; Hallikainen in sod., 1999; Hendriks in sod., 1999); ti varujejo LDL pred oksidacijo. V randomizirani, dvojno slepi raziskavi (Gylling in sod., 2010) so 10 tednov preverjali učinkovitost in varnost uživanja velikih količin estrov rastlinskih stanolov (9 g na dan) na koncentracijo serumskih maščob, karotenoidov in v maščobi topnih vitaminov. Serumski koncentraciji alfa in beta karotena sta upadli, koncentracija vitamina A in 25-OH vitamina D se nista spremenili. Vnos rastlinskih stanolov je LDL znižal za 17 %, pri čemer se je znižala koncentracija beta karotena; koncentracija vitamina A je ostala nespremenjena, zato dokazujejo, da se za zniževanje holesterola lahko poveša količina estrov rastlinskih stanolov. Tudi raziskava (Raeini–Sarjaz in sod., 2002) je dokazala, da uživanje hrane, bogate z estri sterola ali stanola na serumske koncentracije retinola, alfa in gama tokoferola, vitamina D in K ne vpliva. Podobno so dokazali tudi v 6 tednov trajajoči raziskavi (Gylling in Mietinen, 1999), v kateri so uživali margarino, obogateno z estri stanolov; serumske koncentracije vitaminov A, D, K in alfa ter gama tokoferola se v primerjavi s kontrolami signifikantno niso razlikovale.

5 RAZPRAVA

HIPOTEZA 1: *Trans* maščobne kisline povzročajo srčno-žilna obolenja, saj škodljivo vplivajo na krvne maščobe, z vnetjem in endotelijsko disfunkcijo povzročajo nastanek ateroskleroze in koronarne srčne bolezni.

Hipoteza je potrjena, saj raziskave dokazujejo, da *trans* maščobne kisline iz delno hidrogeniranih rastlinskih olj povzročajo koronarno srčno bolezen (Mozaffarian 2009b). Škodljivo vplivajo na krvne maščobe, ker povišujejo LDL in znižujejo HDL. Koronarna srčna bolezen nastane zaradi ateroskleroze, procesa, pri katerem se odvečni holesterol nalaga na žilne stene. Kot dokazujejo raziskave, se tveganje za nastanek koronarne srčne bolezni povečuje tudi s vplivom TMK na vnetje (Baer in sod., 2004; Mozaffarian in sod., 2004; Lopez–Garcia in sod., 2005) in endotelijsko funkcijo (de Roos in sod., 2001; Baer in sod., 2004; Lopez–Garcia in sod., 2005). Vpliv vnosa *trans* maščobnih kislin na nastanek koronarne srčne bolezni in relativno tveganje za njen nastanek so preučevali v prospektivnih kohortnih raziskavah in retrospektivnih raziskavah primerov s kontrolami.

HIPOTEZA 2: *Trans* maščobne kisline povečajo tveganje za nastanek raka.

Hipoteza ni potrjena, niti ovržena. Rezultati raziskav, ki so preučevale vpliv *trans* maščobnih kislin na različne vrste raka dojke, prostate in ne-Hodgkinov limfom, so nasprotujoči; nekatere dokazujejo, da povzročajo raka, druge ne.

HIPOTEZA 3: Vnos *trans* maščobnih kislin vpliva na nastanek sladkorne bolezni tipa 2.

Hipoteza ni niti potrjena niti ovržena. Rezultati raziskav so nasprotujoči: nekatere dokazujejo, da *trans* maščobne kisline vplivajo na inzulinsko občutljivost in povzročajo sladkorno bolezen, druge dokazujejo, da na nastanek bolezni nimajo vpliva.

RAZISKOVALNO VPRAŠANJE 1:

Ali so *trans* maščobne kisline v prehrani škodljive zdravju?

RAZISKOVALNO VPRAŠANJE 2:

Ali predstavljajo *trans* maščobne kisline dejavnik tveganja za nastanek kroničnih nenalezljivih bolezni?

Raziskovalni vprašanji sta potrjeni: z raziskavami je dokazano, da so *trans* maščobne kisline v prehrani škodljive zdravju. Z vplivom na vnetje in funkcijo endotelija povzročajo kronične nenalezljive bolezni, kot so srčno-žilna obolenja, rak in sladkorna bolezen.

RAZISKOVALNO VPRAŠANJE 3:

Ali omejitev dnevnega vnosa *trans* maščobnih kislin zmanjša tveganje za zdravje?

Potrjeno je tudi tretje raziskovalno vprašanje, saj omejitev dnevnega vnosa *trans* maščobnih kislin zmanjša tveganje za zdravje. Zamenjava delno hidrogeniranega olja z 20

% *trans* maščobnih kislin z maslom zmanjša tveganje za nastanek SŽO za približno 10 % in zamenjava olja s 35 ali 45 % z maslom, mastjo, palmovim ali drugimi rastlinskimi olji za 12 do 20 % (Uauy in sod., 2009). Zmanjšanje vnosa *trans* maščobnih kislin za 2,4 % lahko prispeva k zmanjšanju smrti zaradi koronarne srčne bolezni za 23 % in 2 % energije z večkrat nenasičenimi maščobnimi kislinami tveganje za nastanek sladkorne bolezni za 40 %. Vnos TMK v Iranu, kjer je zaradi uporabe delno hidrogeniranih olj zelo visok, letno povzroči približno 70.000 smrti zaradi koronarne srčne bolezni (Unicef, 2005). TMK povzročajo velike koronarne zaplete, relativno tveganje koronarne smrti pri moških z najvišjim deležem zaužitih TMK je približno 40 %. Tveganje za nastanek SŽO je pri 5 g višjem vnosu TMK na dan za 25 % višje, pri uživanju 20 g na dan 2,5-krat višje, v primerjavi z nasičenimi maščobami višje za 4- do 5-krat (Ministry of food, agriculture and fisheries, n.d.).

Raziskave, ki so preučevale vpliv dodatka rastlinskih sterolov oziroma stanolov v margarine na koncentracijo serumskih maščob, so dokazale, da uživanje 2 g sterolov na dan, kar pomeni zaužitje 25 g margarine dnevno (Law, 2000), ugodno vpliva nanje, saj LDL zniža za približno 0,5 mmol/l. Slabost tega je, da takšna količina margarine vsebuje veliko industrijsko proizvedenih *trans* maščobnih kislin, ki so zdravju zelo škodljive. Ugotovili so tudi, da margarina z večkrat nenasičenimi maščobnimi kislinami v primerjavi z rastlinskimi steroli zniža tudi koristen HDL.

Med preučevanjem literature sem zasledila, da obstajajo raziskave, ki poročajo o povezavi med uživanjem *trans* maščobnih kislin in kajenjem. V raziskavi (Oomen in sod., 2001), ki je na nizozemskih starostnikih preučevala vpliv vnosa *trans* maščobnih kislin na nastanek koronarne srčne bolezni, so ugotovili, da so moški z višjim vnosem TMK v primerjavi z nižjim pogostejše kadilci. Tudi raziskava (Salmeron in sod., 2001), ki je preučevala vnos prehranskih maščob in sladkorno bolezen, je pokazala, da so ženske, ki so zaužile več *trans* maščobnih kislin, pogostejše kadilke, kakor tudi, da so manj telesno aktivne. V raziskavi (Lopez-Garcia in sod., 2005) vplivov *trans* maščobnih kislin na vnetje in endotelijsko funkcijo so prišli do zaključka, da so ženske, ki uživajo več tovrstnih maščob, mlajše, pogosto imajo višji indeks telesne mase, so manj telesno aktivne in pogostejše kadijo. Raziskava (Pietinen in sod., 1997), izvedena na kadilcih, potrjuje, da *trans* maščobne kisline povzročajo koronarno srčno bolezen, posebej koronarno smrt. Tudi 20-letno sledenje medicinskim sestram (Oh in sod., 2005) je pokazalo, da delež kadilk narašča z naraščanjem kvintilov oziroma vnosa *trans* maščobnih kislin.

6 ZAKLJUČEK

Trans maščobne kisline so enkrat ali večkrat nenasičene maščobne kisline z vodikovimi atomi na nasprotni strani dvojne vezi. So naravno prisotne v mlečnih izdelkih in mesu, saj nastanejo kot produkt bakterijske presnove prežvekovalcev, nahajajo se tudi v izdelkih, ki so bili podvrženi postopku industrijske hidrogenacije, kar pomeni, da je dvojni vezi v prisotnosti katalizatorja dodan vodik. Postopek se uporablja za doseganje večje oksidativne stabilnosti maščob in podaljšanje življenjske dobe izdelkov, zaradi česar se *trans* maščobne kisline nahajajo v številnih industrijskih izdelkih, kot so pekovski izdelki, delno hidrogenirana rastlinska olja in margarine. Številne raziskave dokazujejo, da so škodljive zdravju; trditev podpirajo z dokazi, da z vplivom na koncentracijo serumskih maščob – povišanjem slabega holesterola nizke gostote in znižanjem dobrega holesterola visoke gostote, spodbujanjem vnetja in oslabitvijo funkcije endotelija prispevajo k nastanku najpogostejših kroničnih nenalezljivih bolezni, kot so srčno-žilna obolenja, najpogosteje koronarna srčna bolezen in ateroskleroza, rak in sladkorna bolezen tipa 2.

Danska je prva država na svetu, ki je sprejela zakonodajo, s katero ureja delež *trans* maščobnih kislin v živilih; zakon omejuje njihovo vsebnost na največ 2 g na 100 g izdelka. Podoben zakon so kasneje sprejeli tudi v Avstriji. Države, ki vsebnosti *trans* maščobnih kislin zakonsko še niso omejile, sodelujejo z javno zdravstvenimi organizacijami in vlado, imajo prehranska priporočila o vsebnosti *trans* maščobnih kislin v prehrani, se zavzemajo za njihovo označevanje na deklaraciji izdelka in obveščajo ljudi o škodljivosti teh maščob. Slovenija takšnega zakona nima; na Zvezi potrošnikov Slovenije se sicer že dlje časa trudijo, da bi s testi, izvedenimi na prehranskih izdelkih, prodajanih na domačem trgu, katerih rezultati nakazujejo, da obstaja veliko živil z visoko vsebnostjo *trans* maščobnih kislin, dokazali, kako pomembno bi bilo omejiti njihovo vsebnost. Omejitev njihove vsebnosti v živilih in posledično zmanjšanje vnosa pri prebivalstvu je zapisano v ciljih nove prehranske politike; zanjo se zavzema tudi Nacionalni inštitut za javno zdravje.

Obstajajo različni postopki, s katerimi lahko industrija zmanjša vsebnost *trans* maščobnih kislin v živilih, primera sta reformulacija živil in interesterifikacija. Reformulacija pomeni njihovo zamenjavo z drugimi nenasičenimi maščobnimi kislinami, pri čemer je potrebno poudariti, da je hkrati zaradi škodljivih učinkov na zdravje ljudi potrebno zmanjšati tudi vsebnost nasičenih maščob, katere se pogosto uporabljajo kot zamenjava. Oleinska kislina, enkrat nenasičena maščobna kislina zaradi ugodnih fizikalno-kemičnih lastnosti, predstavlja možno alternativo nasičenim maščobam. Interesterifikacija je proces, pri katerem na dvojnih vezeh ne poteka izomerizacija ali sprememba nenasičenosti, zato predstavlja alternativo hidrogenaciji olj. Interesterifikacija ne vpliva na kvaliteto maščobnih kislin, ugodno vpliva na njihovo tališče in upočasni kemični razkroj, zato so olja, izdelana na ta način, primernejša za uporabo. Dokazali so, da je z inesterifikacijo mogoče izdelati margarino brez *trans* maščobnih kislin, z višjo vsebnostjo omega-3 in omega-6 maščobnih kislin. Kot zamenjava za delno hidrogenirana rastlinska olja se lahko uporabljajo tropska olja, med katerimi najbolj izstopata palmovo in kokosovo olje.

Trans maščobne kisline zaradi uporabe enakih encimskih sistemov povečujejo potrebo po esencialnih maščobnih kislinah. Omega-3 maščobne kisline z vplivom na endotelij, preprečevanjem vnetja in številnimi drugimi vplivi ugodno delujejo na srčno-žilni sistem, zato bi bila popolna odstranitev TMK in njihova zamenjava z enkrat nenasičenimi maščobnimi kislinami, ki lahko glede na podatke ZDA, zmanjša tveganje za nastanek srčno-žilnih obolenj za kar 20 %, za zdravje ljudi zelo koristna. Zdravju ugoden vpliv imajo tudi rastlinski steroli, stanoli, ki jih je možno dodati margarinar, saj znižujejo škodljiv LDL.

Glede na raziskave, ki dokazujejo škodljivost *trans* maščobnih kislin na zdravje ljudi, menim, da bi se bilo v Sloveniji potrebno zgledovati po državah, ki so njihovo vsebnost v živilih zakonsko omejile, saj bi na ta način zaščitili zdravje prebivalcev. Menim tudi, da bi morala biti vsebnost *trans* maščobnih kislin v živilih na deklaraciji jasno označena; na prodajnih policah domačega trga je ogromno živil z visoko vsebnostjo, na deklaraciji katerih *trans* maščobne kisline sploh niso omenjene. Zelo pomembno se mi zdi, da se Slovenci premalo zavedamo škodljivosti teh maščob, zato je pomembno, da se ljudi ozavešča o tveganjih, povzročenih z izpostavljenostjo visoki vsebnosti v živilih.

7 VIRI

- ABBEY, M., NOAKES, M., BELLING, G.B. in NESTEL, P.J., 1994. Partial replacement of saturated fatty acids with almonds or walnuts lowers total plasma cholesterol and low-density-lipoprotein cholesterol [spletni vir]. *American Journal of Clinical Nutrition*, letn. 59, št. 5, str. 995–999. [Datum dostopa 5. 2. 2015]. Dostopno na <http://ajcn.nutrition.org/content/59/5/995.abstract>
- ABUMWEIS, S.S., BARAKE, R. in JONES, P.J.H., 2008. Plant sterols/stanols as cholesterol lowering agents: a meta-analysis of randomized controlled trials [spletni vir]. *Food and Nutrition Research*, letn. 52, DOI:10.3402/fnr.v52i0.1811. [Datum dostopa 16. 4. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2596710/>
- ADIELS, M., BORÉN, J., CASLAKE, M.J., STEWART, P., SORO, A., WESTERBACKA, J., WENNERBERG, B., OLOFSSON, S.O., PACKARD, C. in TASKINEN, M.R., 2005. Overproduction of VLDL1 Driven by Hyperglycemia Is a Dominant Feature of Diabetic Dyslipidemia [spletni vir]. *Arteriosclerosis Thrombosis and Vascular Biology*, letn. 25, št. 8, str. 1697–1703. [Datum dostopa 3. 3. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15947244>
- ADORNI, M.P., ZIMETTI, F., BILLHEIMER, J.T., WANG, N., RADER, D.J., PHILLIPS, M.C. in ROTHBLAT, G.H., 2007. The roles of different pathways in the release of cholesterol from macrophages [spletni vir]. *Journal of Lipid Research*, letn. 48, št. 11, str. 2453–2462. [Datum dostopa 12. 10. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17761631>
- ADHIKARI, P., SHIN, J., LEE, J., HU, J., ZHU, X., AKOH, C.C. in LEE K., 2010a. Production of *trans*-free margarine stock by enzymatic interesterification of rice bran oil, palm stearin and coconut oil [spletni vir]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, letn. 90 št. 4, str. 703–711. [Datum dostopa 27. 3. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20355102>
- ADHIKARI, P., ZHU, X., GAUTAM, A., SHIN, J., HU, J., LEE, J., AKOH, C.C. in LEE, K., 2010b. Scaled-up production of zero-*trans* margarine fat using pine nut oil and palm stearin [spletni vir]. *Food Chemistry*, letn. 119, št. 4, str. 1332–1338. [Datum dostopa 27. 3. 2015]. Dostopno na <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030881460901053X>
- AKOH, CC. in KIM, BH., 2008. Structured lipids. V: AKOH, C.C., MIN, D.B., ur. *Food lipids: chemistry, nutrition, and biotechnology* [spletni vir]. Florida: CRC Press. [Datum dostopa 10. 4. 2015]. Dostopno na <http://cst.ur.ac.rw/library/Food%20Science%20books/batch1/Food%20Lipids%20-%20Chemistry,%20Nutrition%20and%20Biotechnology%20Third%20Edition.pdf>

- ALBERT, C.M., MA, J., RIFAI, N., STAMPFER, M.J. in RIDKER, P.M., 2002. Prospective study of C-reactive protein, homocysteine, and plasma lipid levels as predictors of sudden cardiac death [spletni vir]. *Circulation*, letn. 105 št. 22, str. 2595–2599. [Datum dostopa 14. 7. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12045163>
- ALMENDINGEN, K., JORDAL, O., KIERULF, T.P., SANDSTAD, B. in PEDERSEN, J.I., 1995. Effects of partially hydrogenated fish oil, partially hydrogenated soybean oil, and butter on serum lipoproteins and Lp[a] in men [spletni vir]. *Journal of Lipid Research*, letn. 36 št. 6, str. 1370–1384. [Datum dostopa 9. 10. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7666013>
- ANSORENA, D., ECHARTE, A., OLLÉ, R. in ASTIASARÁN, I., 2013. 2012: No trans fatty acids in Spanish bakery products. *Food Chemistry*, letn. 138, št. 1, str. 422–429.
- ARAB, L., 2003. Biomarkers of Fat and Fatty Acid Intake. *Journal of Nutrition*, letn. 133, supl. 3, str. 925–932.
- ARO, A., 2004. TFA isomers and the missing evidence [spletni vir]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, letn. 106, št. 6, str. 345–346. [Datum dostopa 22. 6. 2014]. Dostopno na <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ejlt.200490035/pdf>
- ARO, A., AMARAL, E., KESTELOOT, H., RIMESTAD, A., THAMM, M. in VAN POPPEL G., 1998. Trans Fatty Acids in French Fries, Soups, and Snacks from 14 European Countries: the TRANSFAIR Study [spletni vir]. *Journal of Food Composition and Analysis*, letn. 11, št. 2, str. 170–177. [Datum dostopa 5. 9. 2014]. Dostopno na <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157598905725>
- ARO, A., ANTOINE, J.M., PIZZOFEERRATO, L., REYKDALA, O. in VAN POPPEL, G., 1998. Trans fatty acids in dairy and meat products from 14 European countries: the TRANSFAIR Study [spletni vir]. *Journal of Food Composition and Analysis*, letn. 11, št. 2, str. 150–160. [Datum dostopa 5. 9. 2014]. Dostopno na <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157598905701>
- ARONIS, K.N., SAMI, M.K. in MANTZOROS, C.S., 2012. Effect of trans fatty acids on glucose homeostasis: a meta-analysis of randomized, placebo-controlled clinical trials. *American Journal of Clinical Nutrition*, letn. 96, št. 5, str. 1093–1099.
- ASCHERIO, A., KATAN, M.B., ZOCK, P.L., STAMPFER, M.J. in WILLETT, W.C., 1999. Trans fatty acids and coronary heart disease. *New England Journal of Medicine*, letn. 340, št. 25, str. 1994–1998.
- ASSMANN, G. in GOTTO, A.M., 2004. HDL Cholesterol and Protective Factors in Atherosclerosis [spletni vir]. *Circulation*, letn. 109, št. 23, supl. 1, str. 8–14. [Datum dostopa 16. 8. 2014]. Dostopno na http://circ.ahajournals.org/content/109/23_suppl_1/III-8.full

- ASTRUP, A., 2001. Healthy lifestyles in Europe: prevention of obesity and type II diabetes by diet and physical activity [spletni vir]. *Public Health Nutrition*, letn. 4, št. 2B, str. 499–515. [Datum dostopa 20. 2. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11683545>
- BAER, D.J., JUDD, J.T., CLEVIDENCE, B.A. in TRACY, R.P., 2004. Dietary fatty acids affect plasma markers of inflammation in healthy men fed controlled diets: a randomized crossover study [spletni vir]. *American Journal of Clinical Nutrition*, letn. 79, št. 6, str. 969–973. [Datum dostopa 1. 9. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15159225>
- BARYŁKO–PIKIELNA, N. in OSUCHA, A., 1990. Nutritional role of *trans* fatty acids. *Przemysł Spożywczy*, letn. 44, št. 7, str. 162–163.
- BAYLIN, A., KABAGAMBE, E.K., ASCHERIO, A., SPIEGELMAN, D. in CAMPOS, H., 2003. High 18:2 *trans*-fatty acids in adipose tissue are associated with increased risk of nonfatal acute myocardial infarction in Costa Rican adults. *Journal of Nutrition*, letn. 133, št. 4, str. 1186–1191.
- BAYLIN, A., SILES, X., DONOVAN–PALMERA, A., FERNANDEZ, X. in CAMPOS, H., 2007. Fatty acid composition of Costa Rican foods including *trans* fatty acid content. *Journal of Food Composition and Analysis*, letn. 20, št. 3-4, str. 182–192.
- BEHRENDT, D. in GANZ, P., 2002. Endothelial function. From vascular biology to clinical applications [spletni vir]. *American Journal of Cardiology*, letn. 90, št. 10C, str. 40–48. [Datum dostopa 28. 9. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12459427>
- BENDSEN, N.T., HAUGAARD, S.B., LARSEN, T.M., CHABANOVA, E., STENDER, S. in ASTRUP, A., 2011a. Effect of *trans*-fatty acid intake on insulin sensitivity and intramuscular lipids—a randomized trial in overweight postmenopausal women. *Metabolism*, letn. 60, št. 7, str. 906–913.
- BENDSEN, N.T., STENDER, S., SZECSI, P.B., PEDERSEN, S.B., BASU, S., HELLGREN, L.I., NEWMAN, J.W., LARSEN, T.M., HAUGAARD, S.B. in ASTRUP, A., 2011b. Effect of industrially produced *trans* fat on markers of systemic inflammation: evidence from a randomized trial in women. *Journal of Lipid Research*, letn. 52, št. 10, str. 1821–1828.
- BERNEIS, K., 2007. Transfettsäuren – ein vermeidbares Gesundheitsrisiko? [spletni vir]. *Schweizerisches Medizin-Forum*, letn. 7, str. 101–104. [Datum dostopa 11. 7. 2014]. Dostopno na <http://www.endokrinologie.usz.ch/Documents/Transfetts%C3%A4uren.pdf>
- BERRINO, F., MUTI, P., MICHELI, A., BOLELLI, G., KROGH, V., SCIAJNO, R., PISANI, P., PANICO, S. in SECRETO, G., 1996. Serum sex hormone levels after

- menopause and subsequent breast cancer [spletni vir]. *Journal of the National Cancer Institute*, letn. 88, št. 5, str. 291–296. [Datum dostopa 3. 3. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8614008>
- BHARDWAY, S., PASSI, S.J. in MISRA, A., 2011. Overview of trans fatty acids: Biochemistry and health effects. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, letn. 5, str. 161–164.
- BLANCHE, P.J., GONG, E.L., FORTE, T.M. in NICHOLS, A.V., 1981. Characterization of human high-density lipoproteins by gradient gel electrophoresis [spletni vir]. *Biochimica et Biophysica Acta*, letn. 665, št. 3, str. 408–419. [Datum dostopa 2. 10. 2014]. Dostopno na <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0005276081902538>
- BOUCHON, P., 2009. Understanding oil absorption during deep-fat frying [spletni vir]. *Advances in Food and Nutrition Research*, letn. 57, str. 209–234. [Datum dostopa 16. 2. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19595388>
- CARPENTIER, Y.A. in SOBOTKA, L., 2011. Lipid metabolism. V: SOBOTKA, L., ALLISON, S.P., FORBES, A., LJUNGQVIST, O., MEIER, R.F., PERTKIEWICZ, M. in SOETERS, P.B., ur. *Basics in clinical nutrition*. Praga: Galen, str. 108–115.
- CASTELLI, W.P., 1988. Cholesterol and lipids in the risk of coronary artery disease – the Framingham Heart Study. *Canadian Journal of Cardiology*, letn. 4, supl. A, str. 5–10.
- CHAJÈS, V., THIÉBAUT, A.C.M., ROTIVAL, M., GAUTHIER, E., MAILLARD, V., BOUTRON-RUAULT, M.C., JOULIN, V., LENOIR, G.M. in CLEVEL-CHAPELON, F., 2008. Association between Serum *trans*-Monounsaturated Fatty Acids and Breast Cancer Risk in the E3N-EPIC Study. *American Journal of Epidemiology*, letn. 167, št. 11, str. 1312–1320.
- CHARBONNEAU, B., O'CONNOR, H.M., WANG, A.H., LIEBOW, M., THOMPSON, C.A., FREDERICKSEN, Z.S., MACON, W.R., SLAGER, S.L., CALL, T.G., HABERMANN, T.M. in CERHAN, J.R., 2013. *Trans* Fatty Acid Intake Is Associated with Increased Risk and n3 Fatty Acid Intake with Reduced Risk of Non-Hodgkin Lymphoma [spletni vir]. *Journal of Nutrition*, letn. 143, št. 5, str. 672–681. [Datum dostopa 16. 2. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23486982>
- CHARDIGNY, J.M., DESTAILLATS, F., MALPUECH-BRUGÈRE, C., MOULIN, J., BAUMAN, D.E., LOCK, A.L., BARBANO, D.M., MENSINK, R.P., BEZELGUES, J.B., CHAUMONT, P., COMBE, N., CRISTIANI, I., JOFFRE, F., GERMAN, J.B., DIONISI, F., BOIRIE, Y. in SÉBÉDIO, J.L., 2008. Do trans fatty acids from industrially produced sources and from natural sources have the same effect on cardiovascular disease risk factors in healthy subjects? Results of the trans Fatty Acids Collaboration (TRANSFACT) study [spletni vir]. *American Journal of Clinical*

- Nutrition*, letn. 87, št. 3, str. 558–566. [Datum dostopa 16. 2. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18326592>
- CHATERIS, W. in KEOGH, K., 1991. Fats and oil in table spread. *Lipid Technology*, letn. 48, št. 3, str. 16–22.
- CHAVARRO, J.E., STAMPFER, M.J., CAMPOS, H., KURTH, T., WILLETT, W.C. in MA, J.A., 2008. Prospective Study of *Trans*-Fatty Acid Levels in Blood and Risk of Prostate Cancer [spletni vir]. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*, letn. 17, št. 1, str. 95–101. [Datum dostopa 18. 2. 2015]. Dostopno na <http://cebp.aacrjournals.org/content/17/1/95.full>
- CHRISTIANSEN, E., SCHNIDER, S., PALMVIG, B., TAUBER-LASSEN, E. in PEDERSEN, O., 1997. Intake of a diet high in *trans* monounsaturated fatty acids or saturated fatty acids. Effects on postprandial insulinemia and glycemia in obese patients with NIDDM [spletni vir]. *Diabetes Care*, letn. 20, št. 5, str. 881–887. [Datum dostopa 14. 3. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9135961>
- CLAVEL-CHAPELON, F., 2002. Differential effects of reproductive factors on the risk of pre- and postmenopausal breast cancer: results from a large cohort of French women [spletni vir]. *British Journal of Cancer*, letn. 86, št. 5, str. 723–727. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11875733>
- COCKERILL, G.W., HUEHNS, T.Y., WEERASINGHE, A., STOCKER, C., LERCH, P.G., MILLER, N.E. in HASKARD, D.O., 2001. Elevation of Plasma High-Density Lipoprotein Concentration Reduces Interleukin-1-Induced Expression of E-Selectin in an In Vivo Model of Acute Inflammation [spletni vir]. *Circulation*, letn. 103, št. 1, str. 108–112. [Datum dostopa 7. 2. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11136694>
- CODEX ALIMENTARIUS, 2013. *Guidelines on Nutrition Labelling* [spletni vir]. [Datum dostopa 25.10.2014]. Dostopno na http://www.codexalimentarius.org/input/download/.../34/CXG_002e.pdf
- CONNOR, S.L. in CONNOR, W.E., 1997. Are fish oils beneficial in the prevention and treatment of coronary artery disease? [spletni vir]. *American Journal of Clinical Nutrition*, letn. 66, št. 4, str. 1020–1031. [Datum dostopa 7. 2. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9322583>
- DASHTI, N., FENG, Q., FREEMAN, M.R., GANDHI in M., FRANKLIN, F.A., 2002. Trans polyunsaturated fatty acids have more adverse effects than saturated fatty acids on the concentration and composition of lipoproteins secreted by human hepatoma HepG2 cells [spletni vir]. *Journal of Nutrition*, letn. 132, št. 9, str. 2651–2659. [Datum dostopa 12. 9. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12221225>

- DENKE, M.A., 2002. Dietary Prescriptions to Control Dyslipidemias [spletni vir]. *Circulation*, letn. 105, št. 2, str. 132–135. [Datum dostopa 16. 3. 2015]. Dostopno na <http://circ.ahajournals.org/content/105/2/132.full>
- Denmark's trans fat law, 2003. Executive Order [spletni vir], št. 160/2003. [Datum dostopa 20. 8. 2014]. Dostopno na <http://www.tfx.org.uk/page116.html>
- DE ROOS, N.M., BOTS, M.L. in KATAN, M.B., 2001. Replacement of Dietary Saturated Fatty Acids by *Trans* Fatty Acids Lowers Serum HDL Cholesterol and Impairs Endothelial Function in Healthy Men and Women [spletni vir]. *Arteriosclerosis Thrombosis and Vascular Biology*, letn. 21, št. 7, str. 1233–1237. [Datum dostopa 16. 9. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11451757>
- DIMOSTHENOPOULOS, C., KONTOGIANNI, M. in MANGLARA, E., 2010. Principles of Healthy Nutrition. V: KATSILAMBROS, N., DIMOSTHENOPOULOS, C., KONTOGIANNI, M., MANGLARA, E. in POULIA, K.A., ur. *Clinical Nutrition in Practice* [spletni vir]. Oxford: Blackwell Publishing. [Datum dostopa 21. 8. 2014]. Dostopno na <http://sgh.org.sa/Portals/0/Articles/Clinical%20Nutrition%20in%20Practice.pdf>
- DORFMAN, S.E., LAURENT, D., GOUNARIDES, J.S., LI, X., MULLARKEY, T.L., ROCHEFORD, E.C., SARI-SARRAF, F., HUGHES, T.E. in COMMERFORD, S.R., 2009. Metabolic implications of dietary *trans*-fatty acids [spletni vir]. *Obesity*, letn. 17, št. 6, str. 1200–1207. [Datum dostopa 1. 8. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19584878>
- ECKEL, R.H., BORRA, S., LICHTENSTEIN, A.H. in YIN-PIAZZA, S.Y., 2007. Understanding the complexity of *trans* fatty acid reduction in the American diet [spletni vir]. *Circulation*, letn. 115, št. 16, str. 2231–2246. [Datum dostopa 8. 4. 2015]. Dostopno na <http://circ.ahajournals.org/content/115/16/2231.full>
- ENIG, M., MUNN, R. in KEENEY, M., 1978. Dietary fat and cancer trends – a critique [spletni vir]. *Federation Proceedings*, letn. 37, št. 9, str. 2215–2220. [Datum dostopa 22. 4. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/566221>
- ERKKILA, A., DE MELLO, V.D., RISÉRUS, U. in LAAKSONEN, D.E., 2008. Dietary fatty acids and cardiovascular disease: an epidemiological approach [spletni vir]. *Progress in Lipid Research*, letn. 47, št. 3, str. 172–187. [Datum dostopa 15. 1. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18328267>
- ESTADELLA, D., PENHA OLLER DO NASCIMENTO, C.M., OYAMA, L.M., RIBEIRO, E.B., DAMASO, A.R. in DE PIANO, A., 2013. Lipotoxicity: Effects of Dietary Saturated and Transfatty Acids [spletni vir]. *Mediators of Inflammation*, letn. 13, str. 1–13. [Datum dostopa 17. 1. 2015]. Dostopno na <http://www.hindawi.com/journals/mi/2013/137579/>

- EU FOOD LAW, 2013. *Hungary to limit trans fats, track consumption* [spletni vir]. [Datum dostopa 17. 1. 2015]. Dostopno na <http://www.eurofoodlaw.com/country-reports/eu-member-states/hungary/hungary-to-limit-trans-fats-track-consumption-69040.htm>.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2004. Opinion of the scientific panel on dietetic products, nutrition and allergies on a request from the Commission related to the presence of *trans* fatty acids in foods and the effect on human health of the consumption of *trans* fatty acids. *European Food Safety Authority Journal*, letn. 81, str. 1–49.
- EXECUTIVE SUMMARY OF THE THIRD REPORT OF THE NATIONAL CHOLESTEROL EDUCATION PROGRAM (NCEP) EXPERT PANEL ON DETECTION, EVALUATION, AND TREATMENT OF HIGH BLOOD CHOLESTEROL IN ADULTS (ADULT TREATMENT PANEL III), 2001 [spletni vir]. *Journal of the American Medical Association*, letn. 285, št. 19, str. 2486–2497. [Datum dostopa 25. 9. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11368702>
- FELLER, S.E. in GAWRISCH, K., 2005. Properties of docosahexaenoic-acid-containing lipids and their influence on the function of rhodopsin [spletni vir]. *Current Opinion in Structural Biology*, letn. 15, št. 4, str. 416–422. [Datum dostopa 16. 2. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16039844>
- FILIP, S., 2009. *Nastanek trans izomer med toplotno obdelavo živil: doktorska disertacija*, [spletni vir]. Ljubljana: Biotehniška Fakulteta, str. 152. [Datum dostopa 20. 8. 2014]. Dostopno na <http://www.worldcat.org/title/nastanek-trans-izomerov-mascobnih-kislin-med-toplotno-obdelavo-zivil-doktorska-disertacija-s-podrocja-zivilstva-formation-of-trans-fatty-acid-isomers-during-heat-treatment-of-food-doctoral-dissertation/oclc/780992660>
- FLOCK, M.R. in KRIS-ETHERTON, P.M., 2010. Dietary Guidelines for Americans 2010: implications for cardiovascular disease [spletni vir]. *Current Atherosclerosis Reports*, letn. 13, št. 6, str. 499–507. [Datum dostopa 18. 1. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21874316>
- FRANGOS, K. in FORBES, A., 2011. Digestion and absorption of nutrients. V: SOBOTKA, L., ALLISON, S.P., FORBES, A., LJUNGQVIST, O., MEIER, R.F., PERTKIEWICZ, M. in SOETERS, P.B. *Basics in clinical nutrition*. Praga: Galen, str. 83–96.
- GEBAUER, S.K., CHARDIGNY, J.M., JAKOBSEN, M.U., LAMARCHE, B., LOCK, A.L., PROCTOR, S.D. in BAER, D.J., 2011. Effect of Ruminant *trans* Fatty Acids on Cardiovascular Disease and Cancer: a Comprehensive Review of Epidemiological, Clinical and Mechanistic Studies 1–3. *Advances in Nutrition*, letn. 2, str. 332–354.

- GENTON, L., HEIDEGGER, C.P. in PISHARD, C., 2011a. Nutritional support in trauma: pathophysiology of trauma reaction. V: SOBOTKA, L., ALLISON, S.P., FORBES, A., LJUNGQVIST, O., MEIER, R.F., PERTKIEWICZ, M. in SOETERS, P.B., ur. *Basics in clinical nutrition*. Praga: Galen, str. 451–457.
- GENTON, L., VAN GEMERT, W. in SOETERS, P.B., 2011b. Nutritional requirements for health at rest and upon exercise: adult subjects: macronutrients. V: SOBOTKA, L., ALLISON, S.P., FORBES, A., LJUNGQVIST, O., MEIER, R.F., PERTKIEWICZ, M. in SOETERS, P.B., ur. *Basics in clinical nutrition*. Praga: Galen, str. 53–59.
- GHAHREMANPOUR, F., FIROOZRAI, M., DARABI, M., ZAVAREI, A. in MOHEBBI, A., 2008. Adipose Tissue *Trans* Fatty Acids and Risk of Coronary Artery Disease: a Case–Control Study. *Annals of Nutrition and Metabolism*, letn. 52, št. 1, str. 24–28.
- GREENWELL, B.A., 1981. Chilling and crystallization of shortenings and margarine. World Conference on Soya Processing and Utilization [spletni vir]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, letn. 58, št. 3, str. 206–207. [Datum dostopa 5. 4. 2015]. Dostopno na <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02582340>
- GRIMBLE, R.F., 2011. Injury and sepsis: main cytokines and their effects during injury and sepsis. V: SOBOTKA, L., ALLISON, S.P., FORBES, A., LJUNGQVIST, O., MEIER, R.F., PERTKIEWICZ, M. in SOETERS, P.B. *Basics in clinical nutrition*. Praga: Galen, str. 185–192.
- GRUNDY, S.M., CLEEMAN, J.I., MERZ, C.N., BREWER, H.B., CLARK, L.T., HUNNINGHAKE, D.B., PASTERNAK, R.C., SMITH, S.C. in STONE, N.J., 2004. Implications of recent clinical trials for the National Cholesterol Education Program Adult Treatment Panel III guidelines [spletni vir]. *Circulation*, letn. 110, št. 2, str. 227–239. [Datum dostopa 9. 3. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15249516>
- GUPTA, R., ABRAHAM, R.A., DHATWALIA, S., RAMAKRISHNAN, K., PRABHAKARAN, D. in REDDY, K.S., 2009. Use of dried blood for measurement of *trans* fatty acids [spletni vir]. *Nutrition Journal*, letn. 35, št. 8, str. 1–5. [Datum dostopa 16. 2. 2015]. Dostopno na <http://www.nutritionj.com/content/8/1/35>
- GYLLING, H.K., HALLIKAINEN, M., NISSINEN, M.J. in MIETTINEN, T.A., 2010. The effect of a very high daily plant stanol ester intake on serum lipids, carotenoids, and fat-soluble vitamins [spletni vir]. *Clinical Nutrition*, letn. 29, št. 1, str. 112–118. [Datum dostopa 22. 3. 2015]. Dostopno na <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261561409001691>
- GYLLING, H.K. in MIETTINEN, T.A., 1999. Cholesterol reduction by different plant stanol mixtures and with variable fat intake [spletni vir]. *Metabolism*, letn. 48, št. 5, str. 575–580. [Datum dostopa 22. 3. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10337856>

- HALLIKAINEN, M.A., SARKKINEN, E.S. in UUSITUPA, M.I.J., 1999. Effects of low-fat stanol ester enriched margarine on concentration of serum carotenoids in subjects with elevated serum cholesterol concentrations [spletni vir]. *European Journal of Clinical Nutrition*, letn. 53, št. 12, str. 966–969. [Datum dostopa 22. 3. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10602355>
- HARVEY, K.A., ARNOLD, T., RASOOL, T., ANTALIS, C., MILLER, S.J. in SIDDIQUI, R.A., 2008. Trans-fatty acids induce pro-inflammatory responses and endothelial cell dysfunction. *British Journal of Nutrition*, letn. 99, št. 4, str. 723–731.
- HAYES, K.C. in PRONCZUK, A., 2010. Replacing *trans* fat: the argument for palm oil with a cautionary note on interesterification [spletni vir]. *Journal of the American College of Nutrition*, letn. 29, supl. 3, str. 253–284. [Datum dostopa 8. 2. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20823487>
- HEALTH CANADA, 2003. *Regulations Amending the Food and Drug Regulations: nutrition Labelling, Nutrient Content Claims and Health Claims* [spletni vir]. [Datum dostopa 8. 2. 2015]. Dostopno na <http://publications.gc.ca/gazette/archives/p2/2003/2003-01-01/pdf/g2-13701.pdf>
- HELLERSTEIN, M.K., 1999. De novo lipogenesis in humans: metabolic and regulatory aspects [spletni vir]. *European Journal of Clinical Nutrition*, letn. 53, supl. 1, str. 553–565. [Datum dostopa 9. 3. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10365981>
- HENDRIKS, H.F.J., WESTRATE, J.A., VAN VLIET, T. in MEIJER, G.W., 1999. Spreads enriched with three different levels of vegetable oil sterols and the degree of cholesterol lowering in normocholesterolaemic and mildly hypercholesterolaemic subjects [spletni vir]. *European Journal of Clinical Nutrition*, letn. 53, št. 4, str. 319–327. [Datum dostopa 9. 3. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10334658>
- HESSLER, J.R., MOREL, D.W., LEWIS, L.J. in CHISHOLM, G.M., 1983. Lipoprotein oxidation and lipoprotein-induced cytotoxicity. *Arteriosclerosis*, letn. 3, št. 3, str. 215–222.
- HODGE, A.M., ENGLISH, D.R., MCCREDIE, M.R., SEVERI, G., BOYLE, P., HOPPER, J.L. in GILES, G.G., 2004. Foods, nutrients and prostate cancer [spletni vir]. *Cancer Cause Control*, letn. 15, št. 1, str. 11–20. [Datum dostopa 9. 3. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14970730>
- HOTAMISLIGIL, G.S., 2005. Role of endoplasmic reticulum stress and c-Jun NH₂-terminal kinase pathways in inflammation and origin of obesity and diabetes [spletni vir]. *Diabetes*, letn. 54, supl. 2, str. 73–78. [Datum dostopa 9. 3. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16306344>

- HOU, J.C., WANG, F., WANG, Y.T., XU, J. in ZHANG, C.W., 2012. Assessment of trans fatty acids in edible oils in China [spletni vir]. *Food Control*, letn. 25, št. 1, str. 211–215. [Datum dostopa 12. 4. 2015]. Dostopno na <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713511004622>
- HU, F.B. in WILLETT, W.C., 2002. Optimal diets for prevention of coronary heart disease [spletni vir]. *Journal of the American Medical Association*, letn. 288, št. 20, str. 2569–2578. [Datum dostopa 12. 4. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12444864>
- JENSEN, G.L., HSIAO, P.Y., SOETERS, P.B. in SOBOTKA, L., 2011. Nutritional aspects of chronic inflammatory disease. V: SOBOTKA, L., ALLISON, S.P., FORBES, A., LJUNGQVIST, O., MEIER, R.F., PERTKIEWICZ, M. in SOETERS, P.B., ur. *Basics in clinical nutrition*. Praga: Galen, str. 209–216.
- JOHNSTON, P.V., JOHNSON, O.C. in KUMMEROW, F.A., 1957. Occurrence of trans fatty acids in human tissue. *Science*, letn. 126, št. 3276, str. 698–699.
- JUDD, J.T., CLEVIDENCE, B.A., MUESING, R.A., WITTES, J., SUNKIN, M.E. in PODCZASY, J.J., 1994. Dietary trans fatty acids: effects on plasma and lipoproteins of healthy men and women. *American Journal of Clinical Nutrition*, letn. 59, št. 4, str. 861–868.
- KARUPAIAH, T. in SUNDRAM, K., 2007. Effects of stereospecific positioning of fatty acids in triacylglycerol structures in native and randomized fats: a review of their nutritional implications [spletni vir]. *Nutrition & Metabolism*, letn. 4, št. 16, str. 1–17. [Datum dostopa 13. 3. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1947992/>
- KASTORINI, C.M. in PANAGIOTAKOS, D.B., 2009. Dietary patterns and prevention of type 2 diabetes: from research to clinical practice; a systematic review. *Current Diabetes Reviews*, letn. 5, št. 4, str. 221–227.
- KATSILAMBROS, N. in DIMOSTHENOPOULOS, C., 2010. Diabetes. V: KATSILAMBROS, N., DIMOSTHENOPOULOS, C., KONTOGIANNI, M., MANGLARA, E. in POULIA, K.A., ur. *Clinical Nutrition in Practice* [spletni vir]. Oxford: Blackwell Publishing. [Datum dostopa 21. 8. 2014]. Dostopno na <http://sgh.org.sa/Portals/0/Articles/Clinical%20Nutrition%20in%20Practice.pdf>
- KELLENS, M., 1997. Current developments in oil refining technology technical report De SmeteBelgium. Antwerp, str. 35–48.
- KENDALL, C.W. in JENKINS, D.J., 2004. A dietary portfolio: maximal reduction of low-density lipoprotein cholesterol with diet. *Current Atherosclerosis Reports*, letn. 6, št. 6, str. 492–498.

- KIM, B.H., LUMOR, S.E. in AKOH, C.C., 2008. *Trans*-Free margarines prepared with canola oil/palm stearin/palm kernel oil-based structured lipids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, letn. 56, št. 17, str. 8195–8205.
- KLONOFF, D.C., 2007. Replacements for Trans Fats–Will There Be an Oil Shortage? [spletni vir]. *Journal of Diabetes Science and Technology*, letn. 1, št. 3, str. 415–422.
- KOZŁOWSKA–WOJCIECHOWSKA, M., JASTRZĘBSKA, M., NARUSZEWICZ, M. in FOLTYŃSKA, A., 2003. Impact of Margarine Enriched With Plant Sterols on Blood Lipids, Platelet Function, and Fibrinogen Level in Young Men. *Metabolism*, letn. 52, št. 11, str. 1373–1378.
- KRAUSS, R.M. in BURKE, D.J., 1982. Identification of multiple subclasses of plasma low density lipoproteins in normal humans. *The Journal of Lipid Research*, letn. 23, št. 1, str. 97–104.
- KRAVIĆ, S.Ž., SUTUROVIĆ, Z.J., ŠVARC–GAJIĆ, J.V., STOJANOVIĆ, Z.S., PUCAREVIĆ, M.M. in NIKOLIĆ, I.R., 2011. Fatty acid composition including *trans*-isomers of Serbian biscuits. *Hemijska Industrija*, letn. 6, št. 2, str. 139–146.
- KUMMEROW, F.A., 2009. The negative effects of hydrogenated *trans* fat and what to do about them. *Atherosclerosis*, letn. 205, št. 2, str. 458–465.
- KUMMEROW, F.A., MAHFOUZ, M.M. in ZHOU, Q., 2007. *Trans* fatty acids in partially hydrogenated soybean oil inhibit prostacyclin release by endothelial cells in presence of high level of linoleic acid [spletni vir]. *Prostaglandins & Other Lipid Mediators*, letn. 84, št. 3–4, str. 138–153. [Datum dostopa 25. 9. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17991616>
- KUMMEROW, F.A., OLINESCU, R.M., FLEISCHER, L., HANDLER, B. in SHINKAREVA, S.V., 2000. The relationship of oxidized lipids to coronary artery stenosis. *Atherosclerosis*, letn. 149, št. 1, str. 181–190.
- KUMMEROW, F.A., ZHOU, Q., in MAHFOUZ, M.M., 1999. Effect of *trans* fatty acids on calcium influx into human arterial endothelial cells. *American Journal of Clinical Nutrition*, letn. 70, št. 5, str. 832–838.
- LANDMESSER, U., HORNIG, B. in DREXLER, H., 2004. Endothelial Function A Critical Determinant in Atherosclerosis? *Circulation*, letn. 109, št. 2, str. 27–33.
- LAW, M., 2000. Plant sterol and stanol margarines and health. *British Medical Journal*, letn. 320, št. 7238, str. 861–864.
- LEFEVRE, M., LOVEJOY, J.C., SMITH, S.R., DELANY, J.P., CHAMPAGNE, C., MOST, M.M., DE JONGE, L., ROOD, J. in BRAY, G.A., 2005. Comparison of the acute response to meals enriched with *cis* – or *trans*-fatty acids on glucose and lipids in overweight individuals with differing FABP2 genotypes [spletni vir].

- Metabolism*, letn. 54, št. 12, str. 1652–1658. [Datum dostopa 25. 2. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16311100>
- LETH, T., JENSEN, H.G., MIKKELSEN, A.E. in BYSTED, A., 2006. The effect of the regulation on trans fatty acid content in Danish food. *Atherosclerosis Supplements*, letn. 7, št. 2, str. 53–56.
- LEWIS, G.F. in RADER, D.J., 2005. New Insights Into the Regulation of HDL Metabolism and Reverse Cholesterol Transport [spletni vir]. *Circulation Research*, letn. 96, št. 12, str. 1221–1232. [Datum dostopa 6. 10. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15976321>
- LIBBY, P., 2002. Inflammation in atherosclerosis [spletni vir]. *Nature*, letn. 420, št. 6917, str. 868–874. [Datum dostopa 9. 2. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12490960>
- LIBBY, P., RIDKER, P.M. in MASERI, A., 2002. Inflammation and atherosclerosis [spletni vir]. *Circulation*, letn. 105 št. 9, str. 1135–1143. [Datum dostopa 9. 2. 2015]. Dostopno na <http://circ.ahajournals.org/content/105/9/1135.full>
- LICHTENSTEIN, A.H., ERKKILA, A.T., LAMARCHE, B., SCHWAB, U.S., JALBERT, S.M. in AUSMAN, L.M., 2003. Influence of hydrogenated fat and butter on CVD risk factors: remnant-like particles, glucose and insulin, blood pressure and C-reactive protein. *Atherosclerosis*, letn. 171, št. 1, str. 97–107.
- LIST, G.R., 2014. *Trans* fat replacements: A global overview. *Lipid Technology*, letn. 26, št. 6, str. 131–133.
- LIU, X., SCHUMACHER, F.R., PLUMMER, S.J., JORGENSEN, E., CASEY, G. in WITTE, J.S., 2007. *Trans*-fatty acid intake and increased risk of advanced prostate cancer: modification by RNASEL R462Q variant [spletni vir]. *Carcinogenesis*, letn. 28, št. 6, str. 1232–1236. [Datum dostopa 17. 12. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17234723>
- LOCK, A.L. in BAUMAN, D.E., 2004. Modifying milk fat composition of dairy cows to enhance fatty acids beneficial to human health [spletni vir]. *Lipids*, letn. 39, št. 12, str. 1197–1206. [Datum dostopa 17. 12. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15736916>
- LOPEZ-GARCIA, E., SCHULZE, M.B., MEIGS, J.B., MANSON, J.A.E., RIFAI, N., STAMPFER, M.J., WILLETT, W.C. in HU, F.B., 2005. Consumption of *Trans* Fatty Acids Is Related to Plasma Biomarkers of Inflammation and Endothelial Dysfunction. *Journal of Nutrition*, letn. 135, št. 3, str. 562–566.
- LOUHERANTA, A.M., TURPEINEN, A.K., VIDGREN, H.M., SCHWAB, U.S. in UUSITUPA, M.I.J., 1999. A high-*trans* fatty acid diet and insulin sensitivity in young healthy women. *Metabolism*, letn. 48, št. 7, str. 870–875.

- LOVEJOY, J.C., SMITH, S.R., CHAMPAGNE, C.M., MOST, M.M., LEFEVRE, M., DELANY, J.P., DENKINS, J.P., ROOD, J.C., VELDHUIS, J.V. in BRAY, G.A., 2002. Effects of diets enriched in saturated (palmitic), monounsaturated (oleic), or *trans* (elaidic) fatty acids on insulin sensitivity and substrate oxidation in healthy adults. *Diabetes Care*, letn. 25, št. 8, str. 1283–1288.
- LUMOR, S.E., JONES, K.C., ASHBY, R., STRAHAN, G.D., KIM, B.H., LEE, G.C., SHAW, J.F., KAYS, S.E., CHANG, S.W., FOGLIA, T.A. in AKOH, C.C., 2007. Synthesis and characterization of canola oil-stearic acid based *trans*-free structured lipids for possible margarine application [spletni vir]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, letn. 55, št. 26, str. 10692–10702. [Datum dostopa 27. 1. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18052237>
- L'ABBÉ, M.R., STENDER, S., SKEAFF, M., GHAFORUNISSA, R. in TAVELLA, M., 2009. Approaches to removing *trans* fats from the food supply in industrialized and developing countries. *European Journal of Clinical Nutrition*, letn. 63, str. 50–67.
- MACKNESS, M.I. in DURRINGTON, P.N., 1995. HDL, its enzymes and its potential to influence lipid peroxidation [spletni vir]. *Atherosclerosis*, letn. 115, št. 2, str. 243–253. [Datum dostopa 27. 1. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7661883>
- MADJID, M. in WILLERSON, J.T., 2011. Inflammatory markers in coronary heart disease [spletni vir]. *British Medical Bulletin*, letn. 100, str. 23–38. [Datum dostopa 27. 1. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22010105>
- MARTIN, C.A., MILINSK, M.C., VISENTAINER, J.V., MATSUSHITA, M. in DE-SOUZA, N.E., 2007. *Trans* fatty acid-forming processes in foods: a review. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, letn. 79, št. 2, str. 343–350.
- MATTHAN, N.R., CIANFLONE, K., LICHTENSTEIN, A.H., AUSMAN, L.M., JAUHIAINEN, M. in JONES, P.J., 2001. Hydrogenated fat consumption affects acylation-stimulating protein levels and cholesterol esterification rates in moderately hypercholesterolemic women [spletni vir]. *The Journal of Lipid Research*, letn. 42, št. 11, str. 1841–1848. [Datum dostopa 2. 10. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11714853>
- MATTHAN, N.R., WELTY, F.K., BARRETT, P.H., HARAUSZ, C., DOLNIKOWSKI, G.G., PARKS, J.S., ECKEL, R.H., SCHAEFFER, E.J. in LICHTENSTEIN, A.H., 2004. Dietary hydrogenated fat increases high-density lipoprotein apoA-I catabolism and decreases low-density lipoprotein apoB-100 catabolism in hypercholesterolemic women [spletni vir]. *Arteriosclerosis Thrombosis and Vascular Biology*, letn. 24, št. 6, str. 1092–1097. [Datum dostopa 20. 9. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11714853>

- MAUGER, J.F., LICHTENSTEIN, A.H., AUSMAN, L.M., JALBERT, S.M., JAUHIAINEN, M., EHNHOLM, C. in LAMARCHE, B., 2003. Effect of different forms of dietary hydrogenated fats on LDL particle size. *American Journal of Clinical Nutrition*, letn. 78, št. 3, str. 370–375.
- MCMURRY, J. in SIMANEK, E., 2007. Fundamentals of Organic Chemistry. 6th ed. Belmont: Brooks/Cole, str. 510-511.
- MEDINA-JUÁREZ, L.A., GÁMEZ – MEZA, N., ORTEGA – GARCÍA, J., NORIEGA – RODRIGUEZ, J.A. in ANGULO – GUERRERO, O., 2000. *Trans* Fatty Acid Composition and Tocopherol Content in Vegetable Oils Produced in Mexico. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, letn. 77, št. 7, str. 721–724.
- MENAA, A., 2010. *Dietary Trans fatty acids: dangerous bonds for health?:* doktorska disertacija. Paris, Univerza v Parizu, str. 123.
- MENSINK, R.P. in KATAN, M.B., 1990. Effect of dietary *trans* fatty acids on high-density and low-density lipoprotein cholesterol levels in healthy subjects. *New England Journal of Medicine*, letn. 323, št. 7, str. 439–445.
- MENSINK, R.P., ZOCK, P.L., KESTER, A.D. in KATAN, M.B., 2003. Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta analysis of 60 controlled trials. *American Journal of Clinical Nutrition*, letn. 77, št. 5, str. 1146–1155.
- MINISTRY OF FOOD, AGRICULTURE AND FISHERIES, n.d. *The Danish Trans Fat Ban* [spletni vir]. [Datum dostopa 5. 4. 2015]. Dostopno na <https://cspinet.org/reports/generationexcess/drostby.pdf>
- MITMESSER, S.H. in CARR, T.P., 2005. *Trans* fatty acids alter the lipid composition and size of apoB-100-containing lipoproteins secreted by HepG2 cells [spletni vir]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, letn. 16, št. 3, str. 178–183. [Datum dostopa 2. 2. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15741053>
- MONGE-ROJAS, R., COLÓN-RAMOS, U., JACOBY, E. in MOZAFFARIAN, D., 2011. Voluntary reduction of *trans*-fatty acids in Latin America and the Caribbean: current situation. *Revista Panamerica de Salud Pública*, letn. 29, št. 2, str. 126–129.
- MOORE, K.J., SHEEDY, F.J. in FISHER, E.A., 2013. Macrophages in atherosclerosis: a dynamic balance [spletni vir]. *Nature Reviews Immunology*, letn. 13, št. 10, str. 709–721. [Datum dostopa 17. 12. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23995626>
- MOTARD-BÉLANGER, A., CHAREST, A., GRENIER, G., PAQUIN, P., CHOUINARD, Y., LEMIEUX, S., COUTURE, P. in LAMARCHE, B., 2008. Study of the effect of *trans* fatty acids from ruminants on blood lipids and other risk factors for

- cardiovascular disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, letn. 87, št. 3, str. 593–599.
- MOZAFFARIAN, D., ARO, A. in WILLETT, W.C., 2009a. Health effects of *trans*-fatty acids: experimental and observational evidence. *European Journal of Clinical Nutrition*, letn. 63, št. 2, str. 5–21.
- MOZAFFARIAN, D. in CLARKE, R., 2009b. Quantitative effects on cardiovascular risk factors and coronary heart disease risk of replacing partially hydrogenated vegetable oils with other fats and oils. *European Journal of Clinical Nutrition*, letn. 63, št. 2, str. 22–33.
- MOZAFFARIAN, D., JACOBSON, M.F. in GREENSTEIN, J.S., 2010. Food reformulations to reduce trans fatty acids. *New England Journal of Medicine*, letn. 362, št. 21, str. 2037–2039.
- MOZAFFARIAN, D., KATAN, M.B., ASCHERIO, A., STAMPFER, M.J., WILLETT, W.C., 2006. *Trans* Fatty Acids and Cardiovascular Disease. *New England Journal of Medicine*, letn. 354, št. 15, str. 1601–1613.
- MOZAFFARIAN, D., PISCHON, T., HANKINSON, S.E., RIFAI, N., JOSHIPURA, K., WILLETT, W.C. in RIMM, E.B., 2004. Dietary intake of *trans* fatty acids and systemic inflammation in women. *American Journal of Clinical Nutrition*, letn. 79, št. 4, str. 606–612.
- MOZIAR, C., DEMAN, J.M. in DEMAN, L., 1989. Effect of tempering on the physical properties of shortening [spletni vir]. *Canadian Institut of Food and Science Technology Journal*, letn. 22, št. 3, str. 238–242. [Datum dostopa 3. 7. 2014]. Dostopno na <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0315546389703898>
- MUSA–VELOSO, K., POON, T.H., ELLIOT, J.A. in CHUNG, C., 2011. A comparison of the LDLcholesterol lowering efficacy of plant stanols and plant sterols over a continuous dose range: results of a meta-analysis of randomized, placebocontrolled trials. *Prostaglandins leukotrienes and essential fatty acids*, letn. 85, št. 1, str. 9–28.
- NACIONALNI INŠTITUT ZA JAVNO ZDRAVJE, 2014. *Trans maščobne kisline predstavljajo tveganje za srčno žilna obolenja* [spletni vir]. [Datum dostopa 3. 7. 2014]. Dostopno na http://www.ivz.si/Mp.aspx?ni=8&pi=5&_5_id=2423&_5_PageIndex=0&_5_groupId=176&_5_newsCategory=&_5_action=ShowNewsFull&pl=8-5.0
- NACIONALNI PROGRAM ZA OBVLADOVANJE SLADKORNE BOLEZNI: Strategija razvoja 2010–2020, 2010. Ljubljana: Ministrstvo za zdravje RS, str. 6.
- NESTEL, P.J., POMEROY, S.E., SASAHARA, T., YAMASHITA, T., LIANG, Y.L., DART, A.M., JENNINGS, G.L., ABBEY, M. in CAMERON, D., 1997. Arterial compliance in obese subjects is improved with dietary plant n-3 fatty acid from

- flaxseed oil despite increased LDL Oxidizability. *Arteriosclerosis Thrombosis and Vascular Biology*, letn. 17, št. 6, str. 1163–1170.
- NICHOLS, A.V., KRAUSS, R.M. in MUSLINER, T.A., 1986. Nondenaturing polyacrylamide gradient gel electrophoresis. *Methods in Enzymology*, letn. 128, str. 417–431.
- O'DONNELL-MEGARO, A.M., BARBANO, D.M. in BAUMAN, D.E., 2011. Survey of the fatty acid composition of retail milk in the United States including regional and seasonal variations. *Journal of Dairy Science*, letn. 94, št. 1, str. 59–65.
- OH, K., HU, F.B., MANSON, J.A.B., STAMPFER, M.J. in WILLETT, W.C., 2005. Dietary Fat Intake and Risk of Coronary Heart Disease in Women: 20 Years of Follow-up of the Nurses' Health Study. *American Journal of Epidemiology*, letn. 161, št. 7, str. 672–679.
- ONKOLOŠKI INŠTITUT, 2010. *Rak v Sloveniji 2010* [spletni vir].
[Datum dostopa 2. 9. 2014]. Dostopno na
http://www.onko-i.si/fileadmin/onko/datoteke/dokumenti/RRS/LP_2010.pdf
- OOMEN, C.M., OCKÉ, M.C., FESKENS, E.J., VAN ERP-BAART, M.A., KOK, F.J. in KROMHOUT, D., 2001. Association between *trans* fatty acid intake and 10-years risk of coronary heart disease in the Zutphen Elderly Study: a prospective population-based study. *Lancet*, letn. 357, št. 9258, str. 746–751.
- OTITE, F.O., JACOBSON, M.F., DAHMUBED, A. in MOZAFFARIAN, D., 2013. Trends in *Trans* Fatty Acids Reformulations of US Supermarket and Brand-Name Foods From 2007 Through 2011. *Preventing Chronic Disease*, letn. 10, št., str. 1–13.
- ÖZAY, G., YITCHIZ, M., MAHIDIN, M.R., YUSOF, M.S.A., TURGADIL, M. in GÖKCEN, N., 1998. Formulation of *trans*-free acid margarines. Proceedings of World Conference on Oil Seed and Edible Oil Processing, Istanbul, Turkey, 1998: 143–146.
- PAFFEN, E. in DEMEAT, M.P., 2006. C-reactive protein in atherosclerosis: a causal factor? *Cardiovascular Research*, letn. 71, št. 1, str. 30–39.
- PALA, V., KROGH, V., MUTI, P., CHAJES, V., RIBOLI, E., SAADATIAN, M., SIERI, S. in BERRINO, F., 2001. Erythrocyte membrane fatty acids and subsequent breast cancer: a prospective Italian study. *Journal of the National Cancer Institute*, letn. 93, št. 14, str. 1088–1095.
- PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, 2008. *Trans fat free Americas: Declaration of Rio de Janeiro* [spletni vir].
[Datum dostopa 27. 7. 2014]. Dostopno na
www.paho.org/english/AD/DPC/

- PANDE, G., AKOH, C.C. in SHEWFELT, R.L., 2012. Production of *trans*-Free Margarine with Stearidonic Acid Soybean and High-Stearate Soybean Oils-Based Structured Lipids [spletni vir]. *Journal of Food Science*, letn. 77, št. 11, str. 1203–1211. [Datum dostopa 27. 7. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23094958>
- PARTHASARATHY, S., KHOO, J.C., MILLER, E., BARNETT, J., WITZTUM, J.L. in STEINBERG, D., 1990. Low density lipoprotein rich in oleic acid is protected against oxidative modification: implication for dietary prevention of atherosclerosis. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, letn. 87, št. 10, str. 3894–3898.
- PICKUP, J.C., 2004. Inflammation and activated innate immunity in the pathogenesis of type 2 diabetes. *Diabetes Care*, letn. 27, št. 3, str. 813–823.
- PIETINEN, P., ASCHERIO, A., KORHONEN, P., HARTMAN, A.M., WILLETT, W.C., ALBANES, D. in VIRTAMO, J., 1997. Intake of Fatty Acids and Risk of Coronary Heart Disease in a Cohort of Finnish Men: the Alpha-Tocopherol, Beta-Carotene Cancer Prevention Study. *American Journal of Epidemiology*, letn. 145, št. 10, str. 876–887.
- Pravilnik o splošnem označevanju predpakiranih živil*. Uradni list Republike Slovenije, št. 36/2014, str. 4082.
- RAEINI-SARJAZ, M., NTANIOS, F.Y., VANSTONE, C.A. in JONES, P.J.H., 2002. No Changes in Serum Fat-Soluble Vitamin and Carotenoid Concentrations With the Intake of Plant Sterol/Stanol Esters in the Context of a Controlled Diet [spletni vir]. *Metabolism*, letn. 51, št. 5, str. 652–656. [Datum dostopa 20. 3. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11979401>
- RAHATI, S., SHAHRAKI, M., ARJOMAND, G. in SHAHRAKI, T., 2014. Food pattern, Lifestyle and Diabetes Mellitus. *International Journal of High Risk Behaviour and Addiction*, letn. 3, št. 1, str. 1–5.
- REFERENČNE VREDNOSTI ZA VNOS HRANIL, 2004. Ljubljana: Ministrstvo za zdravje RS, str. 37, 38, 40, 41, 45–48, 191.
- Resolucija o nacionalnem programu prehranske politike*, 2005. Uradni list Republike Slovenije, št. 39/2005, str. 5, 9, 15, 17, 24.
- RIBEIRO, A.P.B., BASSO, R.C., GRIMALDI, R., GIOIELLI, L.A. in GONCALVES, L.A.G., 2009. Instrumental methods for the evaluation of interesterified fats [spletni vir]. *Food Analytical Methods*, letn. 2, št. 4, str. 282–302. [Datum dostopa 20. 3. 2015]. Dostopno na <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12161-009-9073-4>

- RICHTER, E.K., SHAWISH, K.A., SCHEEDER, M.R.L. in COLOMBANI, P.C., 2009. *Trans* fatty acid content of selected Swiss foods: the *Trans*SwissPilot Study. *Journal of Food Composition and Analysis*, letn. 22, št. 5, str. 479–484.
- RIDKER, P.M., HENNEKENS, C.H., BURING, J.E. in RIFAI, N., 2000. C-reactive protein and other markers of inflammation in the prediction of cardiovascular disease in women. *New England Journal of Medicine*, letn. 342, št. 12, str. 836–843.
- RISÉRUS, U., 2006. *Trans* fatty acids, insulin sensitivity and type 2 diabetes. *Scandinavian Journal of Food and Nutrition*, letn. 50, št. 4, str. 161–165.
- RISÉRUS, U., JOVINGE, S., BASU, S., NORDIN FREDRIKSON, G., ARNLOV, J. in VESSBY, B., 2002. Supplementation with conjugated linoleic acid causes isomer-dependent oxidative stress and elevated C-reactive protein: a potential link to fatty acid induced insulin resistance. *Circulation*, letn. 106, št. 15, str. 1925–1929.
- RISÉRUS, U., VESSBY, B., ÄRNLÖV, J. in BASU, S., 2004. Effects of *cis* -9 *trans*-11 conjugated linoleic acid supplementation on insulin sensitivity, lipid peroxidation and proinflammatory markers in obese men. *American Journal of Clinical Nutrition*, letn. 80, št. 2, str. 279–283.
- RISÉRUS, U., WILLETT, W.C. in HU, F.B., 2009. Dietary fats and prevention of type 2 diabetes. *Progress in Lipid Research*, letn. 48, št. 1, str. 44–51.
- RISSANEN, H., KNEKT, P., JÄRVINEN, R., SALMINEN, I. in HAKULINEN, T., 2003. Serum fatty acids and breast cancer incidence [spletni vir]. *Nutrition and Cancer*, letn. 45, št. 2, str. 168–175. [Datum dostopa 10. 4. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12881010>
- ROCHU, D., CHABRIERE, E. in MASSON, P., 2010. Paraoxonase-1 and its Interactions with HDL: Molecular Structure of PON1 and HDL. V: KOMODA T., ur. *The HDL Handbook: biological Functions and Clinical Implications* [spletni vir]. London: Academic Press. [Datum dostopa 10. 4. 2015]. Dostopno na <https://books.google.si/books?id=8euuvvh7KDwC&pg=PA99&lpg=PA99&dq=Paraoxonase-1+and+its+Interactions+with+HDL:+Molecular+Structure+of+PON1+and+HDL.&source=bl&ots=7Bqk2GVFxE&sig=HAaXuLdF0OeIjGDZbILkcbSYpZs&hl=sl&sa=X&ved=0CCQQ6AEwAGoVChMI8IWjk5KbxgIVwvJyCh0bRw7z#v=onepage&q=Paraoxonase-1%20and%20its%20Interactions%20with%20HDL%3A%20Molecular%20Structure%20of%20PON1%20and%20HDL.&f=false>
- ROE, M., PINCHEN, H., CHURCH, S., ELAHI, S., WALKER, M., FARRON–WILSON, M., BUTTRISS, J. in FINGLAS, P., 2013. *Trans* fatty acids in a range of UK processed foods. *Food Chemistry*, letn. 140, št. 3, str. 427–431.

- ROSENSON, R.S., BREWER, H.B., DAVIDSON, W.S., FAYAD, Z.A., FUSTER, V., GOLDSTEIN, J., HELLERSTEIN, M., JIANG, X.C., PHILLIPS, M.C., RADER, D.J., REMALEY, A.T., ROTHBLAT, G.H., TALL, A.R. in YVAN-CHARVET, L., 2012. Cholesterol Efflux and Atheroprotection: advancing the Concept of Reverse Cholesterol Transport. *Circulation*, letn. 125, št. 15, str. 1905–1919.
- SADLER, M.J., 2005. *Trans fatty acids*. V: CABALLERO, B., ALLEN, L., ur. *Encyclopedia of Human Nutrition*. 2nd ed. Amsterdam, Elsevier/Academic Press, 2005: 230–236.
- SALMERON, J., HU, F.B., MANSON, J.E., STAMPFER, M.J., COLDITZ, G.A., RIMM, E.B. in WILLETT, W.C., 2001. Dietary fat intake and risk of type 2 diabetes in women. *American Journal of Clinical Nutrition*, letn. 73, št. 6, str. 1019–1026.
- SARTIKA, R.A., 2011. Dietary *trans* fatty acids intake and its relation to dyslipidemia in a sample of adults in Depok city, West Java, Indonesia. *Malaysian Journal of Nutrition*, letn. 17, št. 3, str. 337–346.
- SATO, K., 2001. Crystallization behaviour of fats and lipids – a review. *Chemical Engineering Science*, letn. 56, št. 7, str. 2255–2265.
- SCHUURMAN, A.G., VAN DEN BRANDT, P.A., DORANT, E., BRANTS, H.A.M. in GOLDBOHN, R.A. 1999. Association of energy and fat intake with prostate carcinoma risk. *Cancer*, letn. 86, št. 6, str. 1019–1027.
- SCRIMGEOUR, C.M. in HARWOOD, J.L., 2007. Fatty Acid and Lipid Structure. V: GUNSTONE, F.D., HARWOOD, J.L., in DIJKSTRA, A.J., ur. *The Lipid Handbook with CD-Rom* [spletni vir]. Florida: Taylor & Francis Group. [Datum dostopa 2. 11. 2014]. Dostopno na <http://lipid.name/images/stories/obzori/ganston.pdf>
- SKEAFF, C.M., 2009. Feasibility of recommending certain replacement or alternative fats. *European Journal of Clinical Nutrition*, letn. 63, str. 34–49.
- SOARES, F.A., DA SILVA, R.C., HAZZAN, M., CAPACLA, I.R., VICCOLA, E.R., MARUYAMA, J.M. in GIOIELLI, L.A., 2012. Chemical interesterification of blends of palm stearin, coconut oil, and canola oil: physicochemical properties [spletni vir]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, letn. 60, št. 6, str. 1461–1469. [Datum dostopa 2. 11. 2014]. Dostopno na <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf204111t>
- SPIEKER, L.E., SUDANO, I., HÜRLIMANN, D., LERCH, P.G., LANG, M.G., BINGGELI, C., CORTI, R., RUSCHITZKA, F., LÜSCHER, T.F. in NOLL, G., 2002. High-Density Lipoprotein Restores Endothelial Function in Hypercholesterolemic Men [spletni vir]. *Circulation*, letn. 105, št. 12, str. 1399–1402. [Datum dostopa 5. 10. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11914243>

- STEINHART, H., RICKERT, R. in WINKLER, K., 2003. Identification and analysis of conjugated linoleic acid isomers (CLA) [spletni vir]. *European Journal of Medical Research*, letn. 8, št. 8, str. 370–372. [Datum dostopa 5. 10. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12915332>
- STENDER, S., ASTRUP, A. in DYERBERG, J., 2009. What went in when trans went out? *New England Journal of Medicine*, letn. 361, št. 3, str. 314–316.
- STENDER, S., ASTRUP, A. in DYERBERG, J., 2012. A *trans* European Union difference in the decline in *trans* fatty acids in popular foods: a market basket. *British Medical Journal Open*, letn. 2, št. 5, str. 1–11.
- STULNIG, T., 2010. Welche Fette beeinflussen das kardiovaskuläre Risiko? *Journal für Ernährungsmedizin*, letn. 12, št. 4, str. 6–9.
- SUN, Q., MA, J., CAMPOS, H., HANKINSON, S.E., MANSON, J.A.E., STAMPFER, M.J., REXRODE, K.M., WILLETT, W.C. in HU, F.B., 2007. A Prospective Study of *Trans* Fatty Acids in Erythrocytes and Risk of Coronary Heart Disease. *Circulation*, letn. 115, št. 14, str. 1858–1865.
- TARDY, A.L., LAMBERT-PORCHERON, S., MALPUECH-BRUGERE, C., GIRAUDET, C., RIGAUDIERE, J.P., LAILLET, B., LERUYET, P., PEYRAUD, J.L., BOIRIE, Y., LAVILLE, M., MICHALSKI, M.C., CHARDIGNY, J.M. in MORIO, B., 2009. Dairy and industrial sources of *trans* fat do not impair peripheral insulin sensitivity in overweight women. *American Journal of Clinical Nutrition*, letn. 90, št. 1, str. 88–94.
- TEIXEIRA SANTOS, L.A., CRUZ, R. in CASAL, S., 2015. *Trans* fatty acids in commercial cookies and biscuits: an update of Portuguese market. *Food Control*, letn. 47, str. 141–146.
- THE FIFTH JOINT TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY AND OTHER SOCIETIES ON CARDIOVASCULAR DISEASE PREVENTION IN CLINICAL PRACTICE (CONSTITUTED BY REPRESENTATIVES OF NINE SOCIETIES AND BY INVITED EXPERTS), 2012 [spletni vir]. *European Heart Journal*, letn. 33, št. 13, str. 1635–1701. [Datum dostopa 25. 9. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22555213>
- THIRD REPORT OF THE NATIONAL CHOLESTEROL EDUCATION PROGRAM (NCEP) EXPERT PANEL ON DETECTION, EVALUATION, AND TREATMENT OF HIGH BLOOD CHOLESTEROL IN ADULTS (ADULT TREATMENT PANEL III) FINAL REPORT, 2002. *Circulation*, letn. 106, št. 25, str. 3143–3421.
- TIŠLER, M., 2013. *Organska kemija*. 3rd ed. Ljubljana: Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, str. 12, 61.

- TRANS FAT TASK FORCE, 2006. *Report of the Trans Fat Task Force: TRANSforming the Food Supply* [spletni vir].
[Datum dostopa 20. 2. 2015]. Dostopno na
http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/nutrition/gras-trans-fats/tf-ge/tf-gt_rep-rap_e.html
- UAUY, R., ARO, A., CLARKE, R., GHAFORUNISSA, R., L'ABBÉ, M.R., MOZAFFARIAN, D., SKEAFF, M., STENDER, S. in TAVELLA, M., 2009. WHO Scientific Update on *trans* fatty acids: summary and conclusions. *European Journal of Clinical Nutrition*, letn. 63, str. 68–75.
- UNICEF, 2005. *At a glance: islamic republic of iran statistics* [Spletni vir].
[Datum dostopa 20. 2. 2015] Dostopno na
http://www.unicef.org/infobycountry/iran_statistics.html.
- UPRITCHARD, J.E., ZEELLENBERG, M.J., HUIZINGA, H., VERSCHUREN, P.M. in TRAUTWEIN, E.A., 2005. Modern fat technology: what is the potential for heart health? *Proceedings in the Nutrition Society*, letn. 64, št. 3, str. 379–386.
- Uredba evropskega parlamenta in sveta o zagotavljanju informacij o živilih potrošnikom*, 2004. Uradni list Evropske Unije [spletni vir], št. 1169/2011. [Datum dostopa 18. 1. 2015]
Dostopno na <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:304:0018:0063:SL:PDF>
- VALENZUELA, A. in MORGADO, N., 1999. Trans fatty acid isomers in human health and in the food industry. *Biological Research*, letn. 32, št. 4, str. 273–287.
- VAN DAM, R.B., WILLETT, W.C., RIMM, E.B., STAMPFER, M.J. in HU, F.B., 2002. Dietary Fat and Meat Intake in Relation to Risk of Type 2 Diabetes in Men [spletni vir]. *Diabetes Care*, letn. 25, št. 3, str. 417–424. [Datum dostopa 27. 10. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11874924>
- VAN DEN BRANDT, P.A., GOLDBOHN, R.A., VAN 'T VEER, P., VOLOVICS, A., HERMUS, R.J. in STURMANS, F., 1990. A large-scale prospective cohort study on diet and cancer in The Netherlands [spletni vir]. *Journal of Clinical Epidemiology*, letn. 43, št. 3, str. 285–295. [Datum dostopa 27. 10. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2313318>
- VANDEN HEUVEL, J.P., 2004. Diet, fatty acids, and regulation of genes important for heart disease. *Current Atherosclerosis Reports*, letn. 6, št. 6, str. 432–440.
- VANE, J.R., BAKHLE, Y.S. in BOTTING, R.M., 1998. Cyclooxygenase 1 and 2. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, letn. 38, str. 98–120.
- VANE, J.R., MITCHELL, J.A., APPLETON, I., TOMLINSON, A., BISHOP-BAILEY, D., CROXTALL, J. in WILLOUGHBY, D.A., 1994. Inducible isoforms of cyclooxygenase and nitric-oxide synthase in inflammation. *Proceedings of the*

National Academy of Sciences of the United States of America, letn. 91, št. 6, str. 2046–2050.

- VAN TOLL, A., ZOCK, P.L., VAN GENT, T., SCHEEK, L.M. in KATAN, M.B., 1995. Dietary *trans* fatty acids increase serum cholesterylester transfer protein activity in man. *Atherosclerosis*, letn. 115, št. 1, str. 129–134.
- VASAN, R.S., SULLIVAN, L.M., ROUBENOFF, R., DINARELLO, C.A., HARRIS, T., BENJAMIN, E.J., SAWYER, D.B., LEVY, D., WILSON, P.W. in D'AGOSTINO, R.B., 2003. Inflammatory markers and risk of heart failure in elderly subjects without prior myocardial infarction: the FraminghamHeart Study. *Circulation*, letn. 107, št. 11, str. 1486–1491.
- VEGA-LÓPEZ, S., AUSMAN, M., JALBERT, S.M., ERKKILÄ, T. in LICHTENSTEIN, A.H., 2006. Palm and partially hydrogenated soybean oils adversely alter lipoprotein profiles compared with soybean and canola oils in moderately hyperlipidemic subjects [spletni vir]. *American Journal of Clinical Nutrition*, letn. 84, št. 1, str. 54–62. [Datum dostopa 27. 10. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16825681>
- Verordnung des Bundesministers für Gesundheit über den Gehalt an Trans-fettsäuren in Lebensmitteln (Trans-fettsäuren Verordnung)*, 2009. Bundesgesetzblatt [spletni vir], št. 52/2009. [Datum dostopa 20. 2. 2015]. Dostopno na http://bmg.gv.at/cms/home/attachments/9/9/3/CH1047/CMS1291115625360/bgblla_2009_ii_267_trans-fettsauren-verordnung.pdf
- VOORRIPS, L.E., BRANTS, H.A.M., KARDINAAL, A.F.M., HIDDINK, G.J., VAN DEN BRANDT, P.A. in GOLDBOHN, R.A., 2002. Intake of conjugated linoleic acid, fat, and other fatty acids in relation to postmenopausal breast cancer: the Netherlands Cohort Study on Diet and Cancer [spletni vir]. *American Journal of Clinical Nutrition*, letn. 76, št. 4, str. 873–882. [Datum dostopa 27. 10. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12324303>
- WARNER, K., NEFF, W.E., BYRDWELL, W.C. in GARDNER, H.W., 2001. Effect of oleic and linoleic acids on the production of deep-fried odor in heated triolein and triolinolein [spletni vir]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, letn. 49, št. 2, str. 899–905. [Datum dostopa 15. 10. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11262047>
- WASSEL, P. in YOUNG, N.W.G., 2007. Food applications of trans fatty acid substitutes [spletni vir]. *International Journal of Food Science Technology*, letn. 42, št. 5, str. 503–517. [Datum dostopa 15. 10. 2014]. Dostopno na <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.2007.01571.x/abstract>
- WESTTRATE, J.A. in MEIJER, G.W., 1998. Plant sterol-enriched margarines and reduction of plasma total- and LDL-cholesterol concentrations in

- normocholes-terolaemic and mildly hypercholesterolaemic subjects [spletni vir]. *European Journal of Clinical Nutrition*, letn. 52, št. 5, str. 334–343. [Datum dostopa 18. 4. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9630383>
- WHITE, B., 2009. Dietary Fatty Acids. *American Family Physician*, letn. 80, št. 4, str. 345–350.
- WILLETT, W.C. in ASCHERIO, A., 1994. *Trans* fatty acids: are the effects only marginal? *American Journal of Public Health*, letn. 84, št. 5, str. 722–724.
- WILLETT, W.C., STAMPFER, M.J., MANSON, J.E., COLDITZ, G.A., SPEIZER, F.E., ROSNER, B.A., SAMPSON, L.A. in HENNEKENS, C.H., 1993. Intake of trans fatty acids and risk of coronary heart disease among women. *Lancet*, letn. 341, št. 8845, str. 581–585.
- WILLIAMS, P.T., SUPERKO, H.R., HASKELL, W.L., ALDERMAN, E.L., BLANCHE, P.J., HOLL, L.G. in KRAUSS, R.M., 2003. Smallest LDL Particles Are Most Strongly Related to Coronary Disease Progression in Men [spletni vir]. *Arteriosclerosis Thrombosis and Vascular Biology*, letn. 23, št. 2, str. 314–321. [Datum dostopa 27. 10. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12588777>
- WOLFF, R.L., 1994. *Cis-trans* isomerization of octadecatrienoic acids during heating. Study of pinolenic (*cis*-5, *cis*-9, *cis*-12 18:3) acid geometrical isomers in heated pine seed oil [spletni vir]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, letn. 71, št. 10, str. 1129–1134. [Datum dostopa 15. 1. 2015]. Dostopno na <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02675907>
- WOLFRAM, G., 1997. Was sind und wie wirken omega-3-Fettsäuren? *Ernährungs – Umschau*, letn. 44, str. 36–41.
- WOOD, D.A., RIEMERSMA, R.A., BUTLER, S., THOMSON, M., MACINTYRE, C., ELTON, R.A. in OLIVER, M.F., 1987. Linoleic and eicosapentaenoic acids in adipose tissue and platelets and risk of coronary heart disease [spletni vir]. *Lancet*, letn. 1, št. 8526, str. 177–183. [Datum dostopa 17. 1. 2015]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2880015>
- YAMASHITA, S., TSUBAKIO-YAMAMOTO, K., OHAMA, T., NAKAGAWA-TOYAMA, Y., NISHIDA, M., 2010. Molecular Mechanisms of HDL-Cholesterol Elevation by Statins and Its Effects on HDL Functions [spletni vir]. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, letn. 17, št. 5, str. 436–451. [Datum dostopa 27. 10. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20513953>
- YVAN-CHARVET, L., WANG, N., TALL, A.R., 2010. Role of HDL, ABCA1, and ABCG1 transporters in cholesterol efflux and immune responses [spletni vir]. *Arteriosclerosis Thrombosis and Vascular Biology*, letn. 30, št. 2, str. 139–143.

- [Datum dostopa 27. 10. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19797709>
- ZHOU, Q., JIMI, S., SMITH, T.L. in KUMMEROW, F.A., 1991. The effect of 25-hydroxycholesterol on accumulation of intracellular calcium. *Cell Calcium*, letn. 12, št. 7, str. 467–476.
- ZHOU, Q., SMITH, T.L. in KUMMEROW, F.A., 1993. Cytotoxicity of oxysterols on cultured smooth muscle cells from human umbilical arteries. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, letn. 202, št. 1, str. 75–80.
- ZOCK, P.L. in KATAN, M.B., 1992. Hydrogenation alternatives: effects of trans fatty acids and stearic acid versus linoleic acid on serum lipids and lipoproteins in human [spletni vir]. *The Journal of Lipid Research*, letn. 33, št. 3, str. 399–410. [Datum dostopa 12. 10. 2014]. Dostopno na <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1569387>
- ZVEZA POTROŠNIKOV SLOVENIJE, 2007. *Test: trans maščobne kisline v izdelkih* [spletni vir].
[Datum dostopa 3. 8. 2014]. Dostopno na <http://www.zps.si/index.php/hrana-in-pijaa-topmenu-327/kakovost-ivil/612-vipov-test-trans-maobne-kisline-v-izdelkih>
- ZVEZA POTROŠNIKOV SLOVENIJE, 2013. *Trans maščobne kisline: ni znanega nobenega pozitivnega učinka na zdravje ljudi* [spletni vir].
[Datum dostopa 3. 8. 2014] Dostopno na <http://www.zps.si/index.php/hrana-in-pijaa-topmenu-327/oznaevanje-ivil-topmenu-328/6585-trans-maobnim-kislinam-se-je-dobro-v-im-veji-meri-izogniti-saj-ni-znanega-nobenega-pozitivnega-uinka-na-zdravje-ljudi>
- ŻBIKOWSKA, A., 2010. Formation and properties of *trans* fatty acids – a review [spletni vir]. *Polish Journal of Food Nutrition Sciences*, letn. 60, št. 2, str. 107–114 [Datum dostopa 5. 7. 2014]. Dostopno na <http://www.journal.pan.olsztyn.pl/fd.php?f=1183>

POVZETEK

Maščoba je pomemben del prehrane ljudi. *Trans* maščobne kisline se kot posledica oblikovanja maščob, stabilnejših pred oksidacijo in pridobljenih s procesom industrijske hidrogenacije, pojavljajo v številnih prehranskih izdelkih. Raziskave kažejo, da so škodljive zdravju, saj spodbujajo nastanek kroničnih nenalezljivih bolezni, srčno-žilnih obolenj, raka in sladkorne bolezni. Zaradi vse večjega ozaveščanja o posledicah uživanja visokega vnosa so nekatere države (npr. Danska in Avstrija) vsebnost trans maščobnih kislin v prehrani zakonsko omejile, druge se zavzemajo za ozaveščanje prebivalstva o njihovi škodljivosti, označevanje vsebnosti na deklaraciji izdelkov in omejitev vsebnosti. *Trans* maščobne kisline je najbolje zamenjati z esencialnimi omega-3 ali omega-6 maščobnimi kislinami, saj *trans* maščobne kisline z njimi tekmujejo za iste encimske sisteme in povečujejo potrebo po njih. Slovenija zakona, ki bi omejeval njihovo vsebnost v prehrani, nima, za sprejetje takšnega ukrepa pa je sicer vedno več zanimanja.

Ključne besede: *trans* maščobne kisline, fiziološki učinki, vsebnost v prehrani, zakonodaja.

SUMMARY

Fat is an important part of human nutrition. *Trans* fatty acids formed during industrial hydrogenation are oxidative stable and found in different dietary products. Studies evaluating their health effects have supported detrimental effect on chronic noncommunicable disease, e.g. cardiovascular disease, cancer and diabetes, leading to legislative limits in Denmark and Austria. Other public health initiatives include health claims on the adverse effects, voluntary or mandatory labeling and reduction of the *trans* fatty acid content of foods. Essential fatty acids, e.g. omega-3 and -6 have beneficial health effects and are during industrial interesterification or food reformulation possible alternatives for *trans* fatty acids. Essential fatty acids are highly appropriate because *trans* fatty acids compete for the same enzyme systems and increase their requirements. Slovenia has no legislation regulating *trans* fatty acid content in food.

Keywords: *trans* fatty acid, physiological effect, content in food, legislation.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem svoji mentorici doc. dr. Tamari Poklar Vatovec za strokovno pomoč in nasvete pri izdelavi magistrske naloge. Zahvaljujem se dr. Ani Petelin, doc. dr. Zali Jenko Pražnikar in knjižničarki ge. Martini Kocbek Gajšt za pregled naloge.

Zahvaljujem se tudi profesorici angleškega in slovenskega jezika Margit Berlič Ferlinc za opravljeno lektoriranje.

Posebna zahvala mojim staršem za podporo, potrpežljivost in pomoč pri varstvu otroka.